

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**REDUCCION DEL NIVEL DE CONTAMINACION POR  
PARTICULAS EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE  
UN MOTOR DIESEL.**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECANICO**

**ENRIQUE CHAVARRIA SANCHEZ**

**PROMOCION 1984-I**

**LIMA-PERU**

**2009**

## *Dedicatoria*

*A mis padres que me dieron todo el apoyo y fuerza para terminar lo empezado y a mi esposa Rosario y a mis hijas Silvana y Daniela que son fuentes de mi esfuerzo e inspiración en mi vida.*

# INDICE

Prologo

## **CAPITULO I**

### **1. Introducción**

1.1 Antecedentes

1.2 Objetivo

1.3 Alcances y Limitaciones

## **CAPITULO II**

### **2. Sustento teórico del Control de la Contaminación**

2.1 Tribología

2.1.1 Historia

2.1.2 Fundamentos

2.1.2.1 La Fricción

2.1.2.2 El Desgaste

2.1.2.3 La Lubricación

2.1.3 Impacto Económico

2.2 Mantenimiento Proactivo basado en el control de la contaminación

2.2.1 Resultados del control de la contaminación

2.3 Nivel de limpieza ISO4406

2.3.1 Contaminación

2.3.2 Materiales filtrantes y pureza en la filtración

- 2.3.3 Test Multi Pass
- 2.3.4 Recuento de Partículas
- 2.3.5 Cambios de la Norma
- 2.3.6 Razón de la Filtración

### **CAPITULO III**

#### **3. Descripción y Antecedentes de la Problemática**

- 3.1 Ubicación de la Unidad minera
- 3.2 Motores Diesel en la mina de Toquepala
  - 3.2.1 Motores Detroit Diesel serie 149
- 3.3 Sistema de suministro de combustible para la mina de Toquepala
  - 3.3.1 Características Físico – Químicas del combustible diesel 2
- 3.4 Descripción de fallas en el motor, debido a la contaminación
- 3.5 Análisis de Detroit Diesel, según códigos de limpieza ISO 4406
  - 3.5.1 Planteamiento del problema

### **CAPITULO IV**

#### **4. Reducción del nivel de la contaminación**

- 4.1 Análisis del problema y propuesta de solución
- 4.2 Selección e Instalación de un Prefiltro en la línea de combustible
  - 4.2.1 Características del sistema de combustible del motor 20V149
  - 4.2.2 Características y Selección del Prefiltro
  - 4.2.3 Evaluación del Prefiltro en el volquete
  - 4.2.4 Resultados de la prueba
- 4.3 Selección e Instalación de un filtro de alta eficiencia en el grifo
  - 4.3.1 Característica del Sistema de filtrado en el grifo

4.3.2 Características y Selección del filtro de Alta Eficiencia

4.3.3 Evaluación del filtro en el grifo

4.3.4 Resultados de la prueba

4.4 Resultados de la reducción del nivel de contaminación

4.4.1 Nivel de contaminación en cada etapa de filtrado

4.4.2 Nueva duración de los componentes críticos

## **CAPITULO V**

### **5. Análisis de costos**

5.1 Costos debido a la Alta Contaminación en el combustible

5.2 Ahorro Anual, debido a la mejora en el nivel de limpieza del combustible

### **Conclusiones y Recomendaciones**

### **Bibliografía**

### **Anexos**

## PROLOGO

El presente Informe de Suficiencia es parte de una serie de trabajos de investigación que efectúa la Empresa Filtros LYS S.A., como parte de su servicio de asistencia técnica, para el mejoramiento en los diferentes sistemas de filtración de los equipos que operan en las minas, con el propósito de mejorar su disponibilidad, reduciendo los costos de operación y mantenimiento.

En la introducción del informe, se indican los Antecedentes, Objetivos, Alcances y Limitaciones del Informe de Suficiencia.

En el *segundo capítulo*, se definen los conceptos teóricos sobre el control de la contaminación, que demuestran que se puede mejorar la vida útil de los componentes reduciendo su desgaste empleando el Mantenimiento Proactivo aplicado al control de la contaminación de combustible, de que manera la filtración se vuelve en un factor importante para mejorar los niveles de limpieza de un fluido, con el provisto de reducir el desgaste en los componentes del motor.

En el *tercer capítulo*, se describe las características del problema tecnológico que motiva el desarrollo del estudio técnico, se explica que la elevada contaminación del combustible de partículas sólidas a nivel de 05 micras puede ser un factor determinante para reducir la disponibilidad de los equipos, aumentando los costos de operación y mantenimiento.

En el *cuarto capítulo*, se selecciona el prefiltro y el micronaje del medio filtrante, de acuerdo a los niveles de contaminación del combustible y las especificaciones técnicas de Detroit Diesel, además se selecciona un filtro de alta eficiencia para el grifo y se determina el micronaje de su medio filtrante, con el propósito de llegar a los niveles de limpieza recomendados por el fabricante.

En el *quinto capítulo*, se realiza el análisis de los costos para determinar el ahorro anual que involucra la implementación de la mejora en el sistema de filtración. Finalmente se llega a las conclusiones y recomendaciones.

Por los conceptos teóricos explicados y justificados, por la metodología utilizada en la investigación y por el análisis de los resultados, se espera que este trabajo sirva de material de consulta a egresados y estudiantes de Ingeniería Mecánica.

Este trabajo fue efectuado con el apoyo de la Empresa Filtros LYS S.A. y de los supervisores y técnicos de mantenimiento de la mina Toquepala. Además, se contó con el apoyo de especialistas de las empresas Detroit Diesel, Baldwin y Racor. A todos ellos mi agradecimiento.

# **CAPITULO 1**

## **INTRODUCCION**

### **1.1 ANTECEDENTES**

En las empresas mineras, se busca la mayor disponibilidad de los equipos para mejorar los niveles de producción en la extracción del mineral, sin embargo, dicha disponibilidad se puede ver afectada si los equipos comienzan a tener paradas imprevistas debido a fallas en el motor debido a una alta contaminación de partículas sólidas en el sistema de combustible, ocasionando saturación prematura de los filtros y desgaste en los inyectores.

La constante innovación tecnológica, en los sistemas de inyección, cuyos niveles de presurización del combustible han ido aumentando a niveles de los 30.000 PSI (2.041 bar), han obligado a una mayor exigencia en el filtrado del combustible, debido a que los componentes son fabricados con ajustes tan finos, que el ingreso de partículas por encima de sus tolerancias pueden provocar un desgaste generalizado en el sistema de inyección, especialmente en los inyectores, afectando el rendimiento del motor.

La mayoría de los motores, son diseñados para operar con combustibles Diesel que cumplan con las propiedades de la especificación ASTM D975, sin embargo, dicha especificación, por si sola no define las características requeridas para asegurar la calidad del combustible, cada fabricante de motor provee una lista de propiedades que aseguran un óptimo desempeño del motor, como el Detroit Diesel, donde se indica los límites máximos permisibles en sedimentos y agua, con especial énfasis al contenido de azufre.

Sin embargo, a pesar que el combustible usado en la mina de Toquepala de SPCC, cumplía con los requisitos estipulados por Detroit Diesel, los motores modelo 20V149TI, usado en los volquetes Komatsu de 240 ton, presentaron problemas por saturación prematura de los filtros y desgaste de los inyectores.

Detroit Diesel, decide evaluar el nivel de contaminación del combustible usado en la mina, basándose en la Norma ISO 4406 para determinar el nivel de limpieza y de un contador de partículas para evaluar el número de partículas por tamaño. Los resultados determinaron que el origen de las fallas por saturación de los filtros y el desgaste prematuro de los inyectores se debe a la alta contaminación del combustible por partículas mayores a 5 y 15 micras, que arrojaron un código ISO 20/15, lo cual era elevado comparado con el código de limpieza ISO 18/09, recomendado por el fabricante.

Para eliminar el origen de la falla y mejorar la disponibilidad de los equipos, se tuvo que reducir drásticamente los niveles de contaminación del combustible por

partículas, mediante la instalación de prefiltros y con la instalación de filtros de alta eficiencia en los grifos, de esta manera se pudo eliminar las paradas imprevistas de los equipos; mejorando las condiciones de operación y prolongando la vida de los componentes del motor, de acuerdo a los mantenimientos programados.

En la mina Toquepala, los motores Detroit Diesel 20V149 están instalados en 13 camiones de acarreo de mineral, marca Komatsu, modelo 830E de 240 ton de capacidad.

## **1.2 OBJETIVO**

El presente informe de suficiencia permite demostrar las graves consecuencias que genera la elevada concentración de partículas contaminantes en el sistema de combustible de un motor diesel y de que manera se puede reducir, a través del uso de prefiltros y filtros de alta eficiencia, permitiendo mejorar el rendimiento del motor.

## **1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

La norma de limpieza ISO 4406, se basa en la asignación de códigos de limpieza, para determinar el nivel de contaminación por tamaño de partículas, esta norma es usada con frecuencia para la limpieza de los aceites hidráulicos, sin embargo, se puede aplicar a niveles de fluidos limpios, ya que los contadores de partículas pueden realizar el conteo de partículas para fluidos como: aceites hidráulicos, combustibles diesel y aceites para sistemas de lubricación. De esta manera Detroit Diesel se basó en la norma ISO 4406, para poder determinar el nivel de limpieza óptimo del combustible que debería ser usado en sus motores 20V.

Para el presente informe se empleará la norma ISO 4406 con el método de calibración ISO 4402, el cual nos determinara los rangos de partículas de 02, 05 y 15 micras. A pesar de que este método de calibración ha sido modificado a partir del año 2000, aún es reconocido por la mayoría de los fabricantes de equipos y sistemas hidráulicos. La nueva Norma ISO 4406, versión 2000, ha sido modificado mediante un nuevo método de calibración ISO 1117, el cual determina un rango de tamaño de partículas de 04, 06 y 14 micras.

Solamente se han analizado los resultados de acuerdo al nivel de reducción del contenido de partículas según el análisis en laboratorio en cada una de las etapas de filtrado, debido a que los resultados fueron inmediatos, eliminándose las paradas imprevistas para cambio de filtros y las pérdidas de potencia debido a problemas en los inyectores, los cuales eran reparados o cambiados antes de su programa de mantenimiento parcial del motor (3.500 h) o mantenimiento total (7.000 h).

No se analizó el desgaste por inspección y medición de los inyectores, que es el complemento al análisis de la reducción del desgaste debido a la mejora en el nivel de filtración, porque la inspección tendría que efectuarse desarmando el sistema de inyección del motor, para esto la prueba tendría que hacerse hasta la reparación del motor; en el caso de la mina de Toquepala, sería a las 7.000 h (aproximadamente, 01 año y 4 meses ) lo cual no fue posible hacerlo, por el tiempo prolongado y también porque en toda la vida de los inyectores, hay otros factores que afectan al desgaste de las piezas del motor que complicarían el análisis.

## CAPITULO 2

### SUSTENTO TEORICO DEL CONTROL DE LA CONTAMINACION

#### 2.1 TRIBOLOGÍA

La palabra Tribología se deriva del término griego “tribos”, el cual puede entenderse como “frotamiento o rozamiento”, es la ciencia que estudia la Fricción, el Desgaste y la Lubricación, que tiene lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento.

La tarea de la tribología es:

- Reducir la fricción y desgaste para conservar y reducir la pérdida de Energía.
- Lograr movimientos rápidos y precisos.
- Incrementar la productividad y reducir los costos de mantenimiento.

Antes del nacimiento de la tribología como ciencia, se pensaba en el término “lubricación”. No se había generalizado la disminución de la fricción y el desgaste como prácticas cotidianas. Con la tribología como ciencia se estudia la fricción y sus efectos asociados, como el desgaste, tratando de prevenirlos con mejores diseños y

prácticas de lubricación. Toma en cuenta, entre otros aspectos de la maquinaria industrial, lo siguiente:

- El diseño
- Los materiales de las superficies en contacto
- El sistema de aplicación del lubricante
- El medio circundante
- Las condiciones de operación

### 2.1.1 **Historia:**

- Prehistoria : Generación de fuego mediante fricción, Construcción de armas y utensilios.
- 3500 a.c : Utilización en la rueda
- 1880 a.c : Utilización de materiales con menos coeficientes rozamiento, lubricados con agua y/o grasa animal
- 40 d.c : Utilización de componentes tribológicos y aceites vegetales.
- 1542-1519 : Leonardo Da Vinci - Introducción del concepto de coeficiente de fricción.
- 1564-1642 : Galileo - Estudios sobre el rozamiento y el plano inclinado.
- 1642-1727 : Newton - Postulado de las leyes sobre el flujo viscoso.
- 1663 – 1705 : Amontons / 1736 - 1806 Coulomb : Enunciado de las leyes básicas de la fricción.

- 1855 Petroff / 1872 Tower : Propiedades lubricantes de los aceites minerales destilados del petróleo.
- 1842 - 1912 Reynolds : Comportamiento dinámico de los líquidos (régimen turbulento y laminar).
- 1863 - 1943 : Kingsbury - Tesis sobre lubricación de cojinetes.
- 1975: Grupo Especializado en Tribología en la Sociedad Española de Física y Química.

### 2.1.2 **Fundamentos:**

La Tribología se centra en el estudio de tres fenómenos:

- **La Fricción** entre dos cuerpos en movimiento.
- **El Desgaste** como efecto natural de este fenómeno.
- **La Lubricación** como un medio para evitar el desgaste.

**2.1.2.1 La Fricción** se define como la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse sobre otro con el cual está en contacto. Esta resistencia al movimiento depende de las características de las superficies. Una teoría explica la resistencia por la interacción entre puntos de contacto y la penetración de las asperezas.

La fuerza de resistencia que actúa en una dirección opuesta a la dirección del movimiento se conoce como fuerza de fricción. Existen dos tipos principales de fricción: fricción estática y fricción dinámica. La fricción no es una

propiedad del material, es una respuesta integral del sistema, las dos leyes básicas de la fricción se han conocido desde hace un buen tiempo:

- La resistencia de fricción es proporcional a la carga
- La fricción es independiente del área de deslizamiento de las superficies

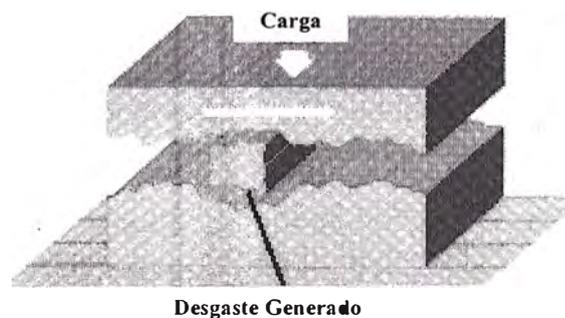
**2.1.2.2. El Desgaste** es el daño de la superficie por remoción del material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo, es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie, los análisis de los sistemas han demostrado que el 75% de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible.

Las superficies de los mecanismos lubricados de una máquina se pueden desgastar por causas que pueden ser por el tipo de lubricante utilizado, a su tiempo de servicio, a contaminantes presentes en el aceite o de fuentes externas, a fallas intempestivas del sistema de lubricación, a sobrecargas, etc. Las superficies correctamente lubricadas también se desgastan cuando se consume o se rompe la película lubricante. Los tipos de desgaste más comunes son: - *Adhesivo* - *Erosivo* - *Corrosivo* - *Abrasivo* - *Fatiga Superficial*.

***Desgaste Adhesivo:*** Es el más crítico, ya que en la mayoría de los casos da lugar a la falla catastrófica del mecanismo lubricado quedando inservible y causando altas pérdidas en el proceso productivo. Se presenta como resultado del contacto metal-metal entre las superficies del mecanismo lubricado, debido al adelgazamiento de la película lubricante:

- Presencia de contaminantes en el aceite (agua, gases, combustibles, etc)
- Bajo nivel de aceite
- Baja viscosidad
- Baja presión de lubricación

Un alto nivel de aceite, alta viscosidad y alta presión en el sistema de lubricación también pueden dar lugar al *desgaste adhesivo* debido a que el exceso de fricción fluida en el aceite incrementa la temperatura de operación, haciendo que las superficies metálicas sometidas a fricción se dilaten y rocen, rompiendo en un momento la capa límite del aceite lubricante. En el *desgaste adhesivo* las superficies metálicas de las rugosidades se sueldan al no estar interpuesto un elemento tribológico que las separe (Fig.2.1).

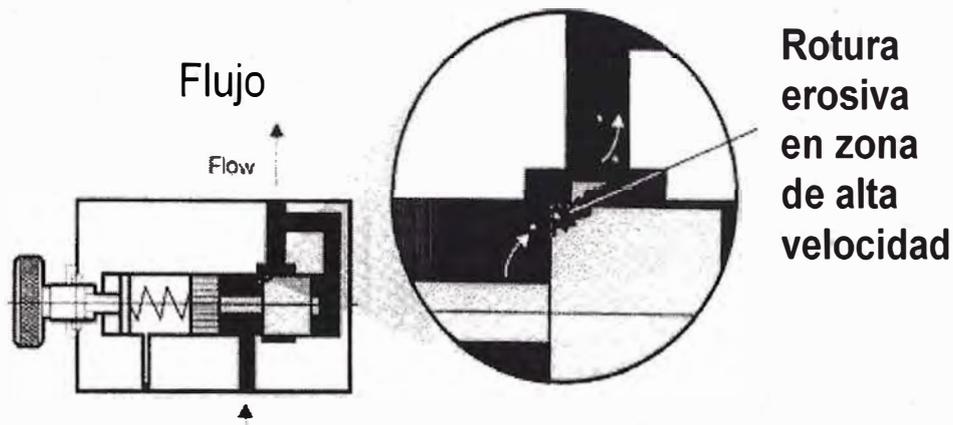


**Fig.2.1: El Desgaste Adhesivo**

Las crestas de las rugosidades aunque tengan la capacidad de deformarse elásticamente no lo pueden hacer debido a que están soldadas y al seguir actuando la carga transmitida por el mecanismo hace que se fracturen dando lugar al desprendimiento de partículas ó fragmentos metálicos de diferentes tamaños; la energía liberada incrementa la temperatura de operación haciendo que las superficies que se encuentran en contacto metal-metal se aproximen aún más conduciendo finalmente a que el mecanismo se agarrote y la máquina se detenga.

Cuando una máquina arranca, el *desgaste adhesivo*, en los mecanismos lubricados es mínimo siempre y cuando la película limite se encuentre en óptimas condiciones, de lo contrario será crítico, si ésta es escasa como resultado de la falta ó del agotamiento de los aditivos antidesgaste en el lubricante, si se usa un lubricante inadecuado ó porque su vida de servicio ha sobrepasado el tiempo máximo permisible

**Desgaste Erosivo:** Es la pérdida lenta de material en las rugosidades de las dos superficies que se encuentran en movimiento como resultado del impacto de partículas sólidas o metálicas en suspensión en un aceite que fluye a alta presión de un tamaño mucho menor que el mínimo espesor de la película lubricante (fig. 2.2).



**Fig.2.2 Desgaste Erosivo.**

Las partículas aunque sean de menor tamaño, al entrar en la zona de alta presión siguen un movimiento desordenado chocando con las rugosidades, es posible que cuando empiezan a chocar no causen desgaste, pero si van fatigando las superficies hasta que finalmente originan el desprendimiento de material.

**Desgaste Corrosivo:** es consecuencia del ataque químico de los ácidos débiles que se forman en el proceso de degradación normal del aceite, de la contaminación de éste con agua o de los ácidos fuertes debidos a la descomposición del aceite cuando está sometido a altas temperaturas; en este último caso la situación es crítica y es lo que más se debe de controlar; tanto los ácidos débiles como los fuertes dan lugar a la formación de ácido sulfúrico. El desgaste corrosivo se puede evitar si el aceite se cambia dentro de los intervalos recomendados

Se manifiesta inicialmente por un color amarillento y luego rojizo de las superficies metálicas, seguido del desprendimiento de pequeñas partículas que cada vez aumentan su concentración hasta que finalmente causan el desgaste por erosión y por abrasión de las superficies sometidas a fricción. Los pequeños cráteres que dejan las partículas que se desprenden al unirse forman grietas que pueden producir finalmente la rotura de la pieza (Fig. 2.3).



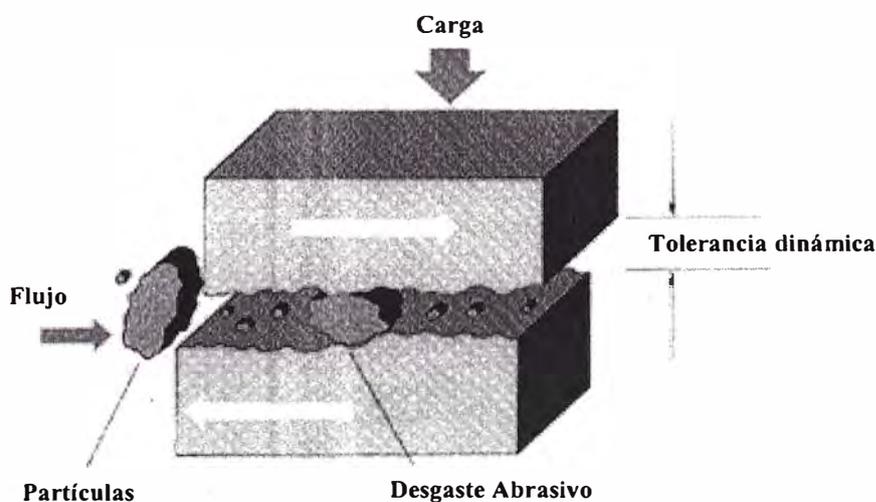
**Fig. 2.3 El Desgaste Corrosivo.**

La probabilidad de que se presente el desgaste corrosivo en los motores de combustión interna es bastante alta debido a que durante el proceso de combustión se genera un buen número de productos gaseosos como el CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, óxidos de nitrógeno y de azufre, etc, los cuales tienen un carácter muy ácido y en presencia de agua se pueden volver bastante corrosivos hacia los metales.

Los motores Diesel son particularmente muy sensibles al desgaste corrosivo debido a la presencia de azufre en el combustible, el cual, durante el proceso de combustión, reacciona con el agua que se forma produciendo ácido

sulfúrico que ataca los anillos, pistones, paredes del cilindro y cojinetes del cigüeñal.

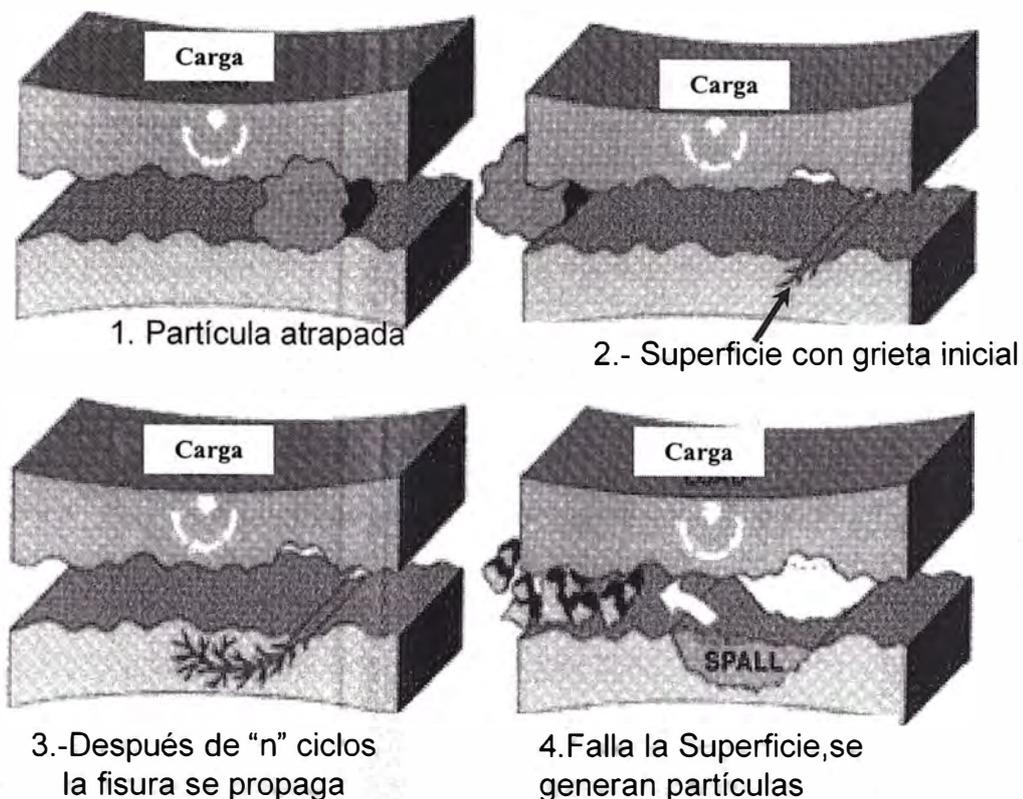
**Desgaste Abrasivo:** Es consecuencia de la presencia de partículas sólidas o metálicas de un tamaño igual ó mayor que el espesor mínimo de la película lubricante y de la misma dureza o superior a la de las superficies metálicas del mecanismo lubricado. Las partículas sólidas como el *silicio* dan lugar a un considerable *desgaste abrasivo* debido a la elevada dureza de este material. Cuando las partículas del mismo tamaño que el mínimo espesor de la película lubricante se encuentran entre las dos superficies “ruedan” removiendo la película límite y desprendiendo material de ambas superficies. Cuando son de mayor tamaño se fracturan dando lugar a partículas del mismo tamaño que el mínimo espesor de la película lubricante y de un tamaño menor que propician el desgaste erosivo y abrasivo. También es factible que se incrusten partículas en una de las superficies y actúen como una herramienta de corte, removiendo material de la otra (Fig. 2.4 ).



**Fig.2.4 El Desgaste Abrasivo.**

**Desgaste por Fatiga Superficial:** Se presenta como resultado de los esfuerzos cíclicos que genera la carga al actuar en el punto donde se forma la película lubricante haciendo que las crestas de las rugosidades traten de aplastarse sin tocarse dando lugar a un ciclo de compresión y de tensión que termina deformando plásticamente las rugosidades causando su rotura, iniciándose de esta manera el “ojo” de fatiga o grieta incipiente que da lugar a un incremento localizado del esfuerzo, que cada vez se hace más crítico por la falta de área hasta que finalmente la velocidad de propagación es tan alta que ocasiona la fractura del componente.

Entre mayor sea la temperatura de operación del elemento lubricado, el desgaste por fatiga superficial es más acelerado debido a la modificación que sufre la curva esfuerzo-deformación del material que hace que el punto de fluencia para la misma condición de carga, el mecanismo quede trabajando en la zona plástica y no en la elástica. La falla por fatiga superficial se presenta de manera típica después de millones de ciclos de deformación elástica y se acelera cuando se tienen temperaturas de operación por encima de los 50°C, por la aplicación de esfuerzos de tensión y compresión, que superan los del material del mecanismo, o por la presencia de partículas sólidas o metálicas de un tamaño igual al espesor de la película lubricante y que no se adhieren a ninguna de las superficies en movimiento; en este caso la partícula es atrapada instantáneamente entre las superficies y origina hendiduras y como consecuencia de la carga que soportan, se inician las grietas, las cuales se esparcen después de “*n*” ciclos de esfuerzos (Fig.2.5 ).



**Fig.2.5 Desgaste por Fatiga Superficial.**

El *desgaste por fatiga superficial* aparece más rápidamente en los elementos que están sometidos a movimiento de rodadura que por deslizamiento debido a los mayores esfuerzos que soportan, este es el caso de los rodamientos, flancos de los dientes de los engranajes a la altura del diámetro de paso, y las superficies de las levas, entre otros.

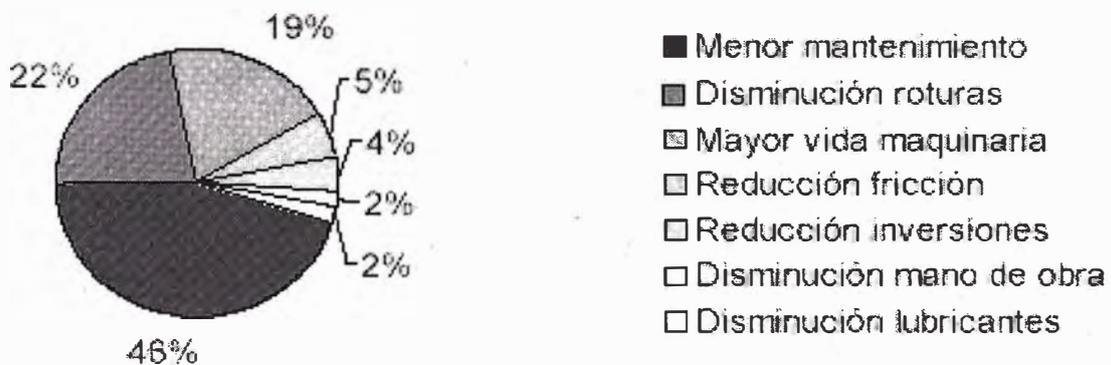
**2.1.2.3. La Lubricación:** El deslizamiento entre superficies sólidas se caracteriza generalmente por un alto coeficiente de fricción y un gran desgaste debido a las propiedades específicas de las superficies, la lubricación consiste en la introducción de una capa intermedia de un material ajeno entre

las superficies en movimiento. Estos materiales intermedios se denominan lubricantes y su función es disminuir la fricción y el desgaste.

### 2.1.3 Impacto Económico:

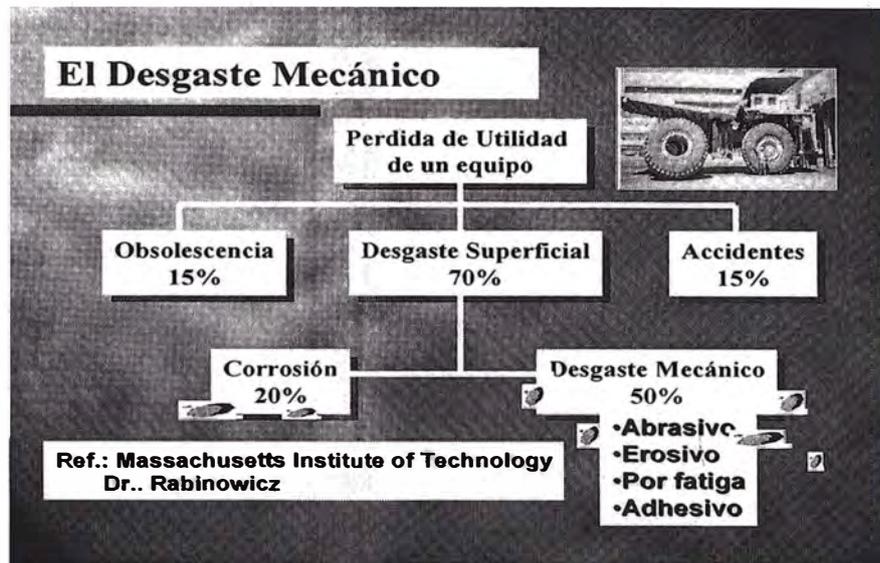
El impacto económico de la Tribología, se pone de manifiesto en sendos estudios realizados en Inglaterra (1966) y en EE.UU (1979):

- Inglaterra (1966, Informe "Jost"): Este informe sugiere que Inglaterra podía ahorrar 515 millones de Libras anuales, mediante mejores prácticas tribológicas (Fig.2.6 ).



**Fig.2.6 Diagrama de mejoras prácticas tribológicas.**

- EE.UU. (1979, E. Rabinowicz): Del 6-7% del P.N.B (\$240 Billones) se requieren para reparar los daños causados por el desgaste mecánico. El 50% de la pérdida de utilidad de un equipo, es producto del desgaste mecánico (Fig.2.7).



**Fig.2.7 Diagrama sobre la Pérdida de Utilidad de un Equipo.**

De acuerdo a pruebas realizadas por empresas y fabricantes de equipos y motores, demuestran que el desgaste abrasivo, es el más severo y perjudicial de todos y tiene que ver directamente con la contaminación por partículas. Un correcto control de la contaminación, reduciendo el ingreso de partículas, alarga la vida de los equipos, alargando el tiempo entre fallas.

## **2.2 MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN**

El costo de mantenimiento es un serio problema en la estructura de costos. De acuerdo con Du Pont, “Mantenimiento es el mayor costo controlable en una planta; en muchas compañías, frecuentemente excede las utilidades anuales netas”. Mientras que el mantenimiento preventivo, cuando es bien implementado, produce ahorros del

orden del 25%, lo cual reduce el tiempo de retorno de la inversión. Según un estudio de Forbes Magazine, uno de cada tres dólares gastados en mantenimiento preventivo, se desperdicia. Estas ineficiencias son resultado del mantenimiento efectuado por un programa basado en tiempo y suposiciones, en vez de hacerlo por la condición de la maquinaria.

El mantenimiento predictivo (también conocido como monitoreo de condición) ha permitido mayores ahorros. El uso de instrumentos para monitorear la condición de los equipos en tiempo real, como vibración, termografía, ferrografía, etc., ha sido muy efectivo en la localización de los síntomas de inicio de falla de la maquinaria. Su mayor beneficio se obtiene cuando se logra una alerta temprana que permite una mayor disponibilidad de la maquinaria y reduce el número de fallas catastróficas.

El mantenimiento proactivo ha recibido recientemente la atención mundial como el medio más simple de lograr ahorros no alcanzados por las técnicas convencionales. Esta filosofía está basada en enfocar sus acciones a las causas de falla de la maquinaria y no a sus síntomas o efectos. Su objetivo es extender la vida de maquinaria, opuesto a las prácticas actuales que en muchos casos hacen reparaciones cuando nada está roto, convivir con las fallas como algo normal y cotidiano y trabajan en crisis de mantenimiento derivadas de fallas en los programas y su aplicación.

Las causas de falla de la maquinaria son muchas, pero generalmente se acepta que el 10% de las causas genera el 90% de los problemas. Frecuentemente, los síntomas de

la falla ocultan la causa o aparecen como la causa misma. Por ejemplo, una falla repentina de un equipo es frecuentemente atribuida a la mala calidad del aceite lubricante. La causa real de falla, frecuentemente, es la contaminación del lubricante, mala filtración o mala instalación del equipo. Cuando una máquina está bien diseñada y construida, las causas de falla generalmente se reducen a su mala aplicación o contaminación. La contaminación es la causa más común de falla de maquinaria y causa el 85% del desgaste.

Cualquier maquinaria es dependiente de sistemas fluidos, tales como el aceite lubricante, aceite hidráulico, refrigerante, combustible y aire, los cuales llevan contaminantes dentro del sistema y los transportan. La presencia de contaminación anormal, en un sistema puede describirse como falla incipiente, esto significa que aunque la máquina no está experimentando una pérdida en su desempeño o degradación de sus componentes, las condiciones que llevan a la falla y reducen la vida del componente sí están presentes.

Haciendo un paralelo con nuestra salud, altos niveles de contaminantes son similares a altos niveles de colesterol y presión sanguínea; tarde o temprano nos conducen a la muerte. Pero al igual que el colesterol y la presión, la contaminación es una condición que puede corregirse. Los contaminantes de que hablamos son partículas sólidas, humedad, aire, productos químicos y otros materiales ajenos al sistema. La mayor parte del desgaste proviene de las partículas. Según Vickers: "El 90% de las fallas por desgaste abrasivo son debidas a la contaminación". El problema radica en que las partículas contaminantes a las que nos referimos son tan pequeñas que no es

posible verlas. Generalmente subestimamos la cantidad de partículas que ingresan a nuestros sistemas (el tamaño más peligroso es el de aquellas partículas menores a 10 micras; el ojo humano no puede ver partículas menores a 40 micras) y sobrestimamos la eficiencia de los filtros. Un estudio de la Universidad de Oklahoma establece que en un sistema común ingresan de 10 a 100 millones de partículas/minuto mayores a 10 micras y la vida de la maquinaria depende de una película lubricante menor a 10 micras.

Los filtros, están sujetos a un reto formidable de retirar las partículas a la misma velocidad a la que ingresan. La parte más crítica es que por cada partícula que ingresa al sistema, se producen 10 partículas más, entre las que se dividen y las que se generan por el desgaste.

El enfoque del mantenimiento proactivo se fundamenta en el control de esta contaminación y el establecimiento de métodos y dispositivos para reducir y controlar su impacto en la maquinaria, prolongando de esta manera su vida. El secreto del éxito del programa está en esa frase japonesa que dice “Hazlo, no sólo hables de hacerlo”

El análisis de los fluidos, es una de las herramientas más valiosas en la implementación y control de un Programa de Mantenimiento Proactivo; por ejemplo, en el caso de los aceites particularmente importantes son las pruebas de: **Conteo de partículas**, viscosidad, TAN, TBN, degradación de aditivos y metales en ppm.

### 2.2.1 Resultados del control de la contaminación

- a. Programa de control de la contaminación implementada por la Nippon Steel, mejorando su filtración y monitoreando la limpieza de los fluidos (Fig.2.8).

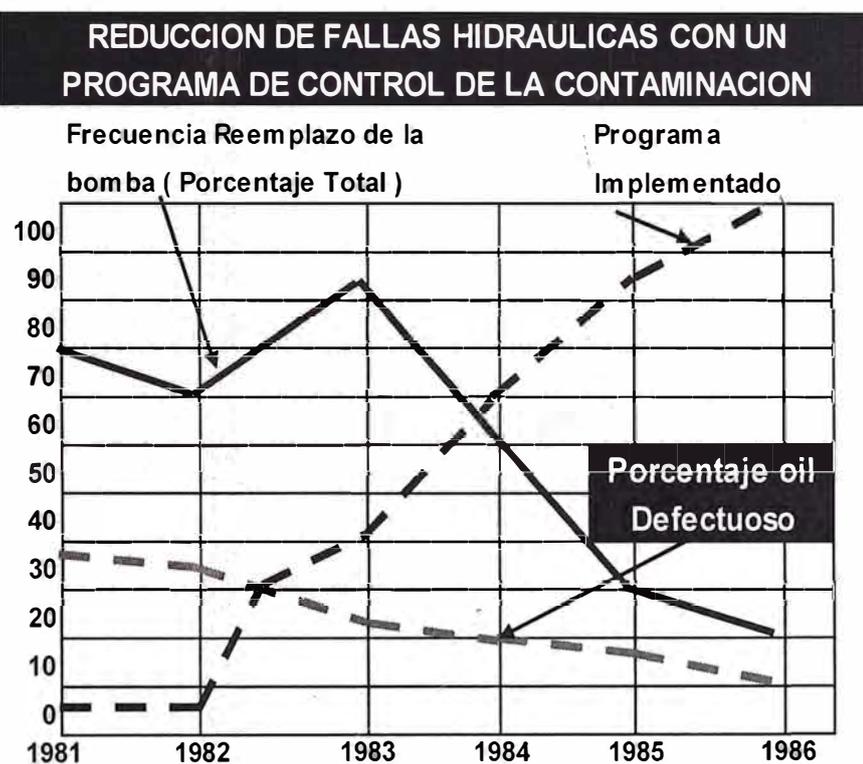
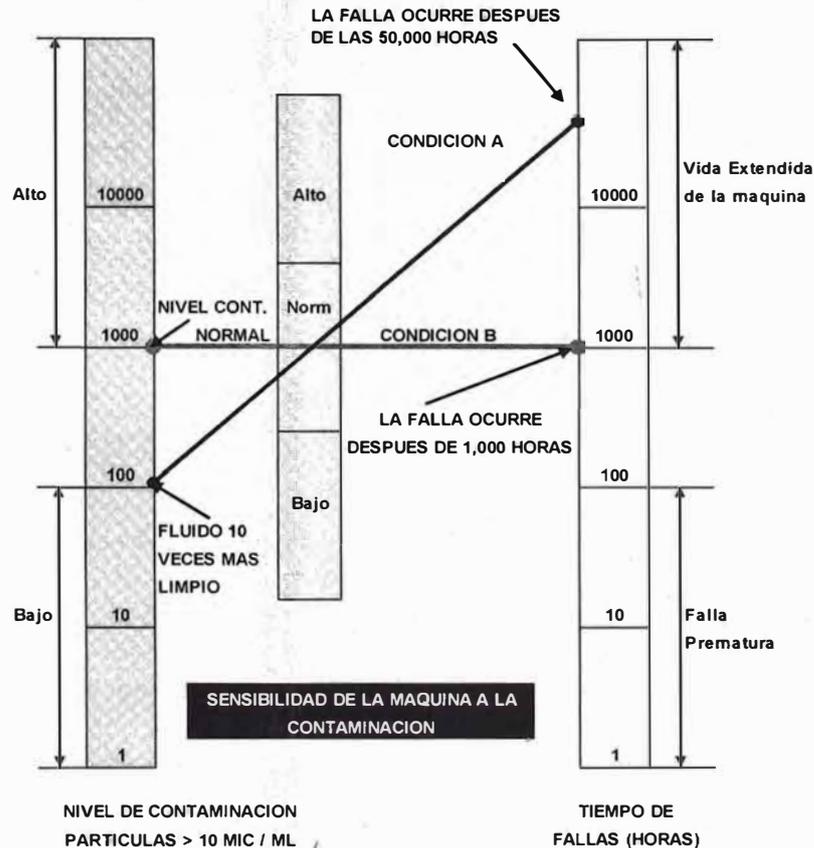


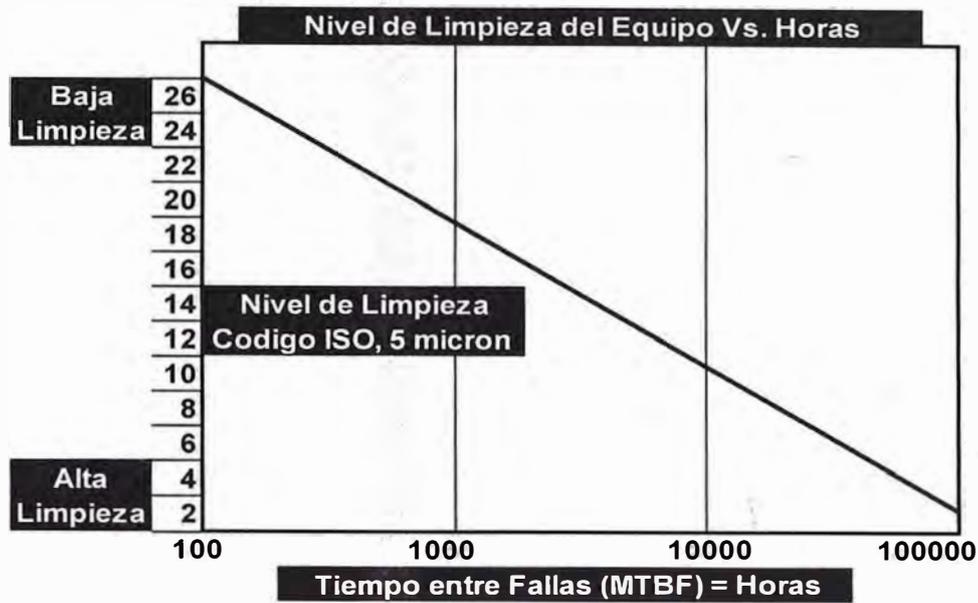
Fig.2.8 Control de Contaminación – Nipón Steel.

- b. Un estudio realizado por la Universidad de Oklahoma, demuestran que un fluido 10 veces más limpio, extiende la vida de la bomba en 50 veces (Fig.2.9).



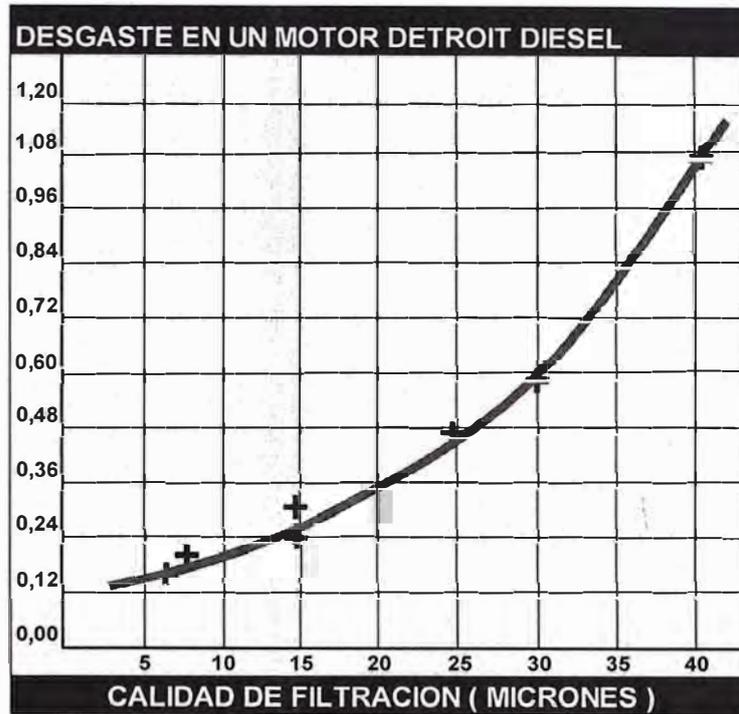
**Fig.2.9 Estudio realizado por la Universidad de Oklahoma.**

- c. Un estudio de la Asociación Británica de Investigación Hidrodinámica, durante 03 años, a 117 máquinas hidráulicas, demuestran el mayor tiempo de fallas cuando el fluido es más limpio (Fig.2.10).



**Fig. 2.10** Estudio realizado por la A.B. de Investigación Hidrodinámica.

- d. Un estudio de desgaste de la empresa Cummins, demuestran que las partículas menores a 10 micras causaron 3,5 veces más desgaste que las mayores a 10 micras. El espesor de la película de aceite lubricante, en el cual dichas partículas pueden llegar a la superficie y dañarla, está en el rango de 10 micras.
- e. La División AC Delco de la GM, encontró disminución en la velocidad de desgaste en 08 veces con menores niveles de contaminación en los aceites lubricantes, el desgaste en un motor se redujo en un 50% utilizando un filtro de 30 micrones, comparado con uno de 40 y en un 70 % usando uno de 15  $\mu\text{m}$  (Fig.2.11).



**Fig. 2.11 Desgaste de un motor Detroit Diesel.**

### 2.3 NIVEL DE LIMPIEZA ISO 4406

La ausencia de datos claros ha llevado a muchos malentendidos en la última década. Tenemos la norma ISO 4406 para códigos de limpieza con dos valores, a menudo se ha estado usando "como proyecto" la aceptada a finales de 1999 y tiene como objetivo aportar aspectos cada vez más claros, para que la industria alcance más perspicacia dentro de los productos y aplicaciones.

Para un mejor entendimiento de las normas se requiere una breve explicación de las técnicas de filtrado. En los sistemas hidráulicos existe una estrecha relación entre las aplicaciones de los filtros y su mantenimiento. Está demostrado por organizaciones y empresas de prestigio internacional, que más de un 80% de las averías en los sistemas hidráulicos y de lubricación están producidas por la contaminación. Para

prevenir la contaminación de los sistemas y alcanzar los niveles de limpieza requeridos los filtros deben probarse en bancos de pruebas.

### 2.3.1 Contaminación

La contaminación podríamos dividirla en cuatro categorías:

- La contaminación "añadida", creada durante la fabricación y el montaje del sistema.
- La contaminación "ingerida", penetra dentro del sistema, por un mal funcionamiento o filtros no adecuados, estanqueidad defectuosa en los depósitos, pueden ser la causa de una contaminación no deseada dentro del sistema.
- La contaminación "generada" por deterioro o desgaste de los propios elementos.
- La contaminación, presente en un fluido nuevo, durante el llenado del sistema. Un fluido "nuevo" no tiene ninguna garantía de que este limpio.

Un dato importante es el efecto catalítico que puede ocurrir por la presencia de una combinación de ciertos elementos químicos en la contaminación, este efecto puede incrementarse exponencialmente por la presencia de agua en el fluido del sistema. En general, podríamos establecer, que la contaminación genera contaminación. Para parar este fenómeno, la aplicación de filtros es inevitable.

### **2.3.2 Materiales filtrantes y pureza en la filtración**

Si los filtros se fabrican con malla de alambre trenzada, el tamaño del poro está definido por la geometría del trenzado. Cuanto más pequeño sea el tamaño del poro se usará alambre más fino, mientras pueda ser trenzado. Este tipo de malla de alambre, sin embargo, es muy costosa y de difícil limpieza. Usando el mejor sistema de limpieza que podamos imaginar nunca llegaremos a recuperar más del 70 % de la superficie colmatada en cada una de las limpiezas (con la segunda limpieza del filtro, se recupera solamente el 40% de la superficie total del filtro). Por esta razón se da preferencia a sustituir la malla de alambre por materiales de fibra inorgánica, para fabricar filtros más finos.

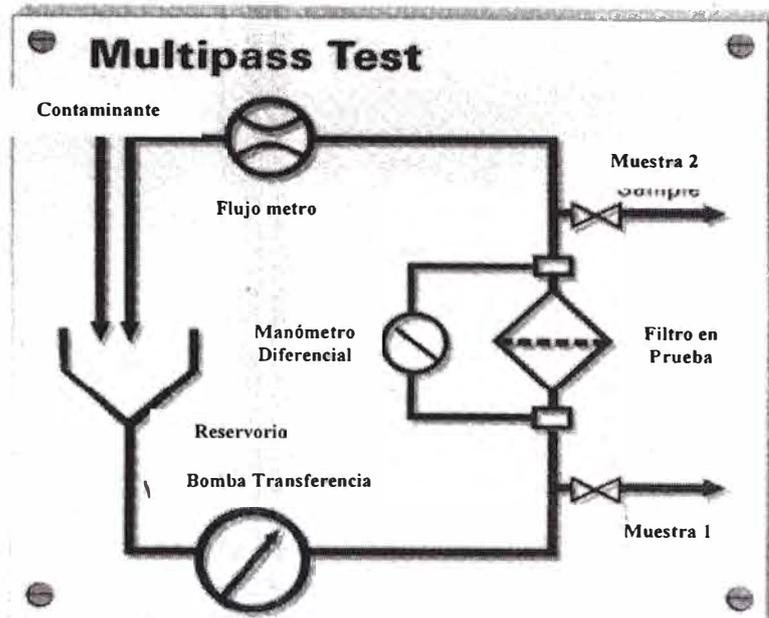
Los materiales de fibra son más baratos y de mayor disponibilidad. En el pasado, los materiales basados en las fibras de celulosa eran los preferidos, pero hoy en día las fibras de vidrio son las usadas normalmente para fabricar medios filtrantes. Fibras regulares llevan a resultados más estables. Además, las fibras de vidrio tienen diámetros más pequeños, permitiendo la producción de materiales filtrantes con una talla de porosidad más pequeña y una estructura más abierta. El tamaño de la porosidad no es medible en contraste con la malla de alambre, la geometría de estos tipos de materiales de fibra no está definida inequívocamente, debido al grosor del material se crea una estructura 3D con cierto fondo, de modo que influye en el tamaño del poro.

Para obtener información técnica y numérica de materiales filtrantes de fibra, es necesario realizar un test de estos materiales, preferentemente de acuerdo con los procedimientos estándares. Solamente por los resultados del test los materiales pueden ser comparados adecuadamente. En el pasado se han probado medios filtrantes de fabricantes de filtros de reconocida solvencia técnica, que en sus catálogos decían que era de una eficacia de filtración determinada, pero los resultados, de acuerdo con el multi-pass test, daban eficiencias muy distintas.

### 2.3.3 Test Multi-Pass

El test más importante es el multi-pass (ver Fig.2.12), descrito en las normas:

- ISO16889 ( reemplaza a ISO4572 ) : Aceite Hidráulico
- ISO19438 : Combustibles
- ISO 4548-12 : Aceites de motor



**Fig. 2.12 Prueba Multi-pass.**

En este test, el elemento filtrante está montado dentro de un filtro de prueba. Este filtro se monta en un circuito cerrado. El depósito se llena con aceite limpio y se realiza la prueba, midiendo el caudal, temperatura, pérdida de carga inicial en el filtro, presión de trabajo y presión máxima.

En un segundo depósito se prepara aceite contaminado. Partimos de un depósito con aceite limpio donde se inyecta una determinada cantidad (peso) de polvo, resultando un aceite contaminado con una concentración de sólidos determinada. Empieza el test, un caudal constante de aceite contaminado se pasa al depósito del circuito cerrado donde estamos haciendo la prueba. De esta manera comienza la prueba de filtro. Durante la prueba monitorizamos continuamente la caída de presión en el filtro de prueba. Con contadores de partículas - basados en sensores láser - antes y después del filtro de prueba,

contamos el número y tamaño de las partículas en el fluido. Lógicamente, las partículas que el filtro no retiene pasan una y otra vez por él. Este test es conocido como el multi-pass test. Obviamente es una prueba destructiva.

Debido a la continua inyección de fluido contaminado, la caída de presión sobre el elemento filtrante, se incrementará hasta una presión diferencial determinada, definida como presión diferencial final. Cuando alcanza esta presión final, el test ha concluido.

El recuento de partículas aguas arriba y aguas abajo del filtro de prueba, nos da información acerca del tamaño de la porosidad del material filtrante. Asimismo, la llamada razón de filtración (beta ratio) puede ser calculada.

La información de la pérdida de presión, recogida durante todo el test, puede ser usada para dibujar la curva de pérdida de presión, conociendo la duración del test, es posible calcular la cantidad inyectada de polvo de test, este valor es conocido como capacidad de retención de suciedad del elemento filtrante, ahora el material filtrante está especificado con información técnica y es comparable con otros materiales.

#### **2.3.4 Recuento de partículas**

Esta prueba está en estrecha relación con la prueba anterior. Para su evaluación, se deben mencionar las normas ISO 4406 y ISO 4402.

En la norma ISO 4406, los códigos se asignan a un determinado número de partículas de contaminación, a través de las cuales se expresa la limpieza del fluido en códigos.

La norma ISO 4402, concierne a la calibración de los contadores automáticos de partículas. La calibración, de acuerdo con la norma existente, está basada en el test de polvo del desierto ACFTD, así pues, está pasada de moda. Ahora, para la calibración de contadores de partículas se recomienda usar muestras calibradas, las cuales están certificadas por el NIST (Instituto Nacional para Estándares y Tecnología - USA). Este método prueba ser más exacto y de mejor reproducción que el método con ACFTD.

Como consecuencia de la nueva calibración las partículas se miden a diferente escala. De acuerdo a la norma actual la limpieza se determina fijando el número de partículas respectivamente en  $>5\mu\text{m}$  y  $>15\mu\text{m}$ . Actualmente, de forma transitoria, aceptada por la mayoría de los fabricantes y usuarios de sistemas hidráulicos y contemplada en la actual norma ISO 4406, se tienen en cuenta también el número de partículas  $>2\mu\text{m}$ .

De acuerdo con las propuestas a la nueva norma y como consecuencia del cambio de método de calibración de los contadores, se fija o determina el número de partículas respectivamente en  $>4\mu\text{m}$ ,  $>6\mu\text{m}$  y  $>14\mu\text{m}$ .

Deliberadamente se ha optado por este enfoque, para asegurar que el resultado (expresado en el código de limpieza de acuerdo con la norma ISO 4406, ejemplo 16/12) cuando se use la "nueva" norma será igual al resultado de la "vieja" norma. El usuario acostumbrado con esta forma de determinar el nivel de limpieza, no necesita "cambiar" a otros valores. (Anexo I : Códigos ISO de Limpieza ).

### **2.3.5 Cambios de la Norma**

La nueva norma para la calibración de los contadores de partículas (ISO 4402) será el ISO 11171, algunas características de estos cambios son:

- Los contadores automáticos de partículas serán calibrados usando muestras de calibración con certificado NIST .
- La información estática será especificada
- Las técnicas analíticas y el proceso de información serán especificados

Proveyendo nuevos números para las normas mencionadas, se hace una clara distinción entre la norma antigua y la nueva. Para los códigos de limpieza, de acuerdo con la norma ISO 4406, se ha decidido mantener los mismos, porque los resultados de acuerdo con esta norma, son comparables a los resultados de la norma que la sustituye. De hecho, para diferenciar a la nueva, se le va a añadir los dígitos correspondientes al año de edición, a los de la norma ISO (ISO 4406-2000).

### 2.3.6 Razón de Filtración

También conocida como Razón Beta, es una medida de la eficiencia de captura de partículas de un elemento de filtro, en el método de prueba (“testeo”) de multi-pass, una cantidad de contaminante especial de testeo es inyectada en el sistema de filtración. Un contador de partículas mide la cantidad y tamaño de éstas, tanto a la entrada como a la salida del filtro. La razón de filtración es la división del número de partículas de un tamaño dado, antes de entrar al filtro, entre el número de partículas del mismo tamaño a la salida de éste.

$$B(x) = \frac{\text{\# de partículas antes del filtro}}{\text{\# de partículas después del filtro}}$$

**x = tamaño de partícula especificado**

$$B(10) = \frac{100.000}{50.000} = 2$$

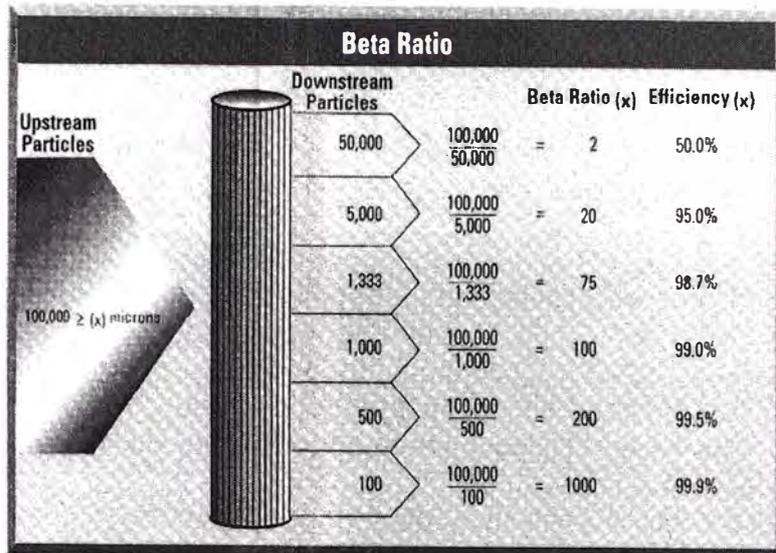
La eficiencia de captura de un filtro, expresada como porcentaje, es:

$$\text{Eficiencia (x)} = (1 - 1 / \text{Beta}) 100$$

$$\text{Eficiencia (10)} = (1 - 1 / 2) 100$$

$$\text{Eficiencia (10)} = 50\%$$

Esto quiere decir que, de cada 100.000 partículas iguales o mayores a 10 micrones que entran al filtro, solo son atrapadas 50.000 partículas. En la Fig. 2.13, se muestra la relación de los diferentes números Beta y su eficiencia.



**Fig.2.13 Beta Ratio – Eficiencia.**

Conocer el nivel de limpieza de un fluido es la base para las medidas de control de contaminación. Contar las partículas es el método más usado para determinar el estándar del nivel de limpieza. Instrumentos ópticos muy sensitivos son usados para contar el número de partículas y el rango de tamaño de ellas.

Los tres números en el código ISO se refieren a la cantidad de partículas mayores que 2, 5 y 15 micrómetros en un mililitro de fluido, respectivamente, esta información puede ser de gran utilidad para mejorar y dirigir los esfuerzos de filtración, por ejemplo:

**El código ISO: 24 / 22 / 18**

Significa un fluido de Alta Contaminación. De acuerdo al Anexo 1, encontramos la siguiente cantidad de partículas:

- 80.000 a 160.000 Partículas/ml  $\geq$  02 micras
- 20.000 a 40.000 Partículas/ml  $\geq$  05 micras
- 1.300 a 2.500 Partículas/ml  $\geq$  15 micras

## **CAPITULO 3**

### **DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA**

#### **3.1 UBICACIÓN DE LA UNIDAD MINERA.**

El presente estudio ha sido realizada en la Unidad minera de Toquepala perteneciente a la Empresa Southern Peru; este complejo minero está ubicado en los Andes del Departamento de Tacna, aproximadamente a 984 km al sureste de Lima, está caracterizada por la explotación a tajo abierto, con una profundidad de 700 m y una proyección de llegar a los 1.200 m de profundidad. Es una mina con un alto grado de mecanización, siendo una de sus principales fuerzas motrices el motor Diesel, principalmente para los volquetes de alto tonelaje, que tienen la función de transportar el material de la zona de perforación y voladura hacia las tolvas que descargan el material a los vagones de las locomotoras para ser transportadas luego a la planta concentradora.

#### **3.2 MOTORES DIESEL EN LA MINA DE TOQUEPALA.**

La mina de Toquepala cuenta con los siguientes motores Diesel, instalados en camiones de acarreo de mineral:

Marca	CAT	MTU	DDC	DDC
Modelo	3516B	16V4000	20V149	12V149
Potencia Bruta ( HP, kW )	2300 (1715)	-	2500 (1750)	1300 (969)
Potencia neta (HP, kW)	2166 (1615)	2409 (1798)	2334 (1635)	1200 (895)
Tiempos	4	4	2	2
N° Cilindros	16	16	20	12
Cantidad	5	4	13	15
Instalado en camión	Cat 793C	Komatsu 830E	Komatsu 830E	Dresser 445E
Capacidad de camión	240 ton 218TM	240 ton 218TM	240 ton 218TM	120 ton 109TM

### 3.2.1 Motores Detroit Diesel Serie 149.

Los motores Detroit Diesel Serie 149 (Fig. 3.1. Motor 20V149), son motores en V de dos tiempos, con culatas individuales, con esquema de intercambio de gases de barrido unidireccional con lumbreras y válvulas, los gases salen a través de las válvulas mientras que el soplado se efectúa por las lumbreras de admisión

A ambos lados (frontal y posterior), el motor dispone de amplios compartimentos en donde se ubica los trenes de engranajes para mover los accesorios de los sistemas auxiliares del motor.

El combustible es suministrado desde el tanque a través de los filtros hacia el sistema de inyección diesel y luego hacia la entrada de los inyectores por una bomba de engranajes, el exceso de combustible retorna al tanque por las

líneas del múltiple de salida, la circulación constante del combustible a través de los inyectores enfría los inyectores y expulsa al aire del sistema.

El aire fresco para la combustión es introducido a los cilindros por los sopladores a través de las lumbreras y los gases quemados salen por las válvulas de escape, todo el aire, antes de pasar por los sopladores, pasa por los filtros de aire y por los turbo-alimentadores, se logra el enfriamiento del motor por la recirculación del refrigerante a través de las galerías del motor mediante una bomba centrífuga montada en la parte frontal del motor.

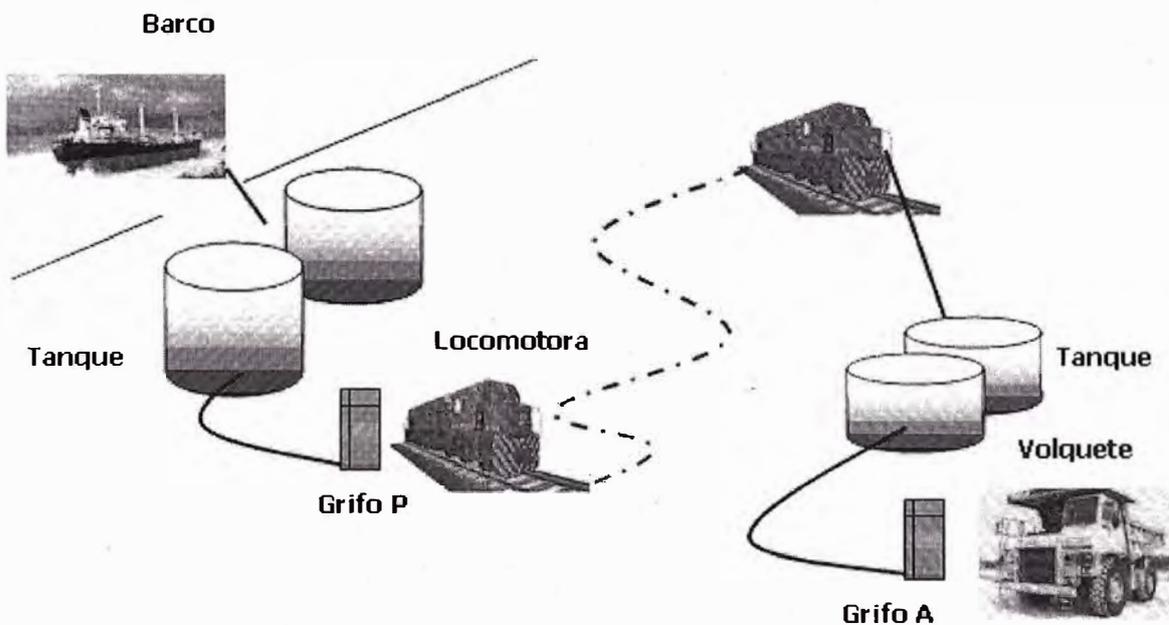
El aceite se suministra a presión a todos los cojinetes y partes en movimiento del motor, una bomba de engranajes lleva aceite desde el cárter hacia los filtros, luego fluye hacia el enfriador de aceite de donde ingresa a una galería longitudinal en el block del motor donde el aceite se distribuye, parte del aceite va hacia los cojinetes del eje de levas y los mecanismos de las válvulas de escape y los turbocargadores (turbocompresores), el resto del aceite lubricante van hacia los cojinetes de bancada y de biela por los pasajes perforados en el cigüeñal.

### **3.3 SISTEMA DEL SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE PARA LA MINA DE TOQUEPALA**

Southern Perú, se abastece de combustible en el puerto de Ilo, a través de barcos, que van descargando por un conducto principal hacia los tanques de almacenamiento, seguidamente, emplean unos surtidores para el llenado de los

tanques cisternas, las cuales se van transportando por las locomotoras hacia las unidades mineras de Toquepala y Cuajone.

En la mina de Toquepala, los tanques cisternas de las locomotoras, van descargando el combustible por gravedad hacia los tanques de almacenamiento; luego bombean el combustible hacia las estaciones de los grifos, para suministrar luego a los diferentes equipos que operan en la mina, como volquetes, cargadores, tractores, etc. (Fig. 14).



**Fig.3.1 Suministro del combustible en Toquepala.**

### 3.3.1 Características físico químicas del combustible Diesel 2

Los combustibles usados en los motores de combustión interna están constituidos por una mezcla de hidrocarburos que se diferencian entre sí por la estructura de sus moléculas (en forma de anillo o en forma de cadena)

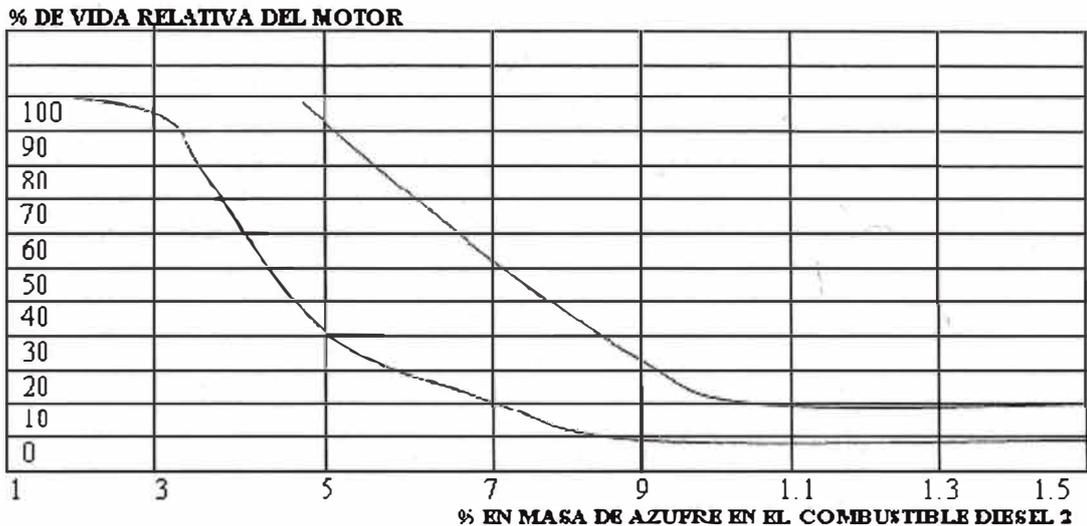
El combustible para motores Diesel, se obtiene por destilación del petróleo crudo al evaporarse en el intervalo de (210 a 360)°C, los hidrocarburos más volátiles vaporizan primero.

La calidad del combustible usado es un factor muy importante en la obtención de un buen desempeño, una vida útil larga y niveles aceptables de emisión de gases tóxicos de los motores diesel. Los motores en su mayoría son diseñados para operar con los combustibles Diesel que existen en el mercado que cumplan con las propiedades de la especificación ASTM D975 (ver Anexo II – ASTM D975) grados D-1 y D-2.

Sin embargo, la especificación ASTM D975 por si sola no define las características del combustible requerido para asegurar la calidad del combustible, cada fabricante de motor provee una lista de propiedades físico – químicas del combustible que aseguran un óptimo desempeño del motor, como el Detroit Diesel que ponen especial énfasis en el contenido de azufre (ver Anexo III).

Si el contenido del azufre está sobre 0,5% (5.000 ppm) en masa se considera un combustible con alto contenido de azufre, sin embargo, el Diesel 2 con contenido de azufre de 0,3% (3.000 ppm), por la acción del ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), empieza a incrementar la tasa de desgaste de anillos, cilindros y formación de depósitos del motor que lo usa. A continuación, en la Fig. 3.2,

se muestra la curva del efecto del contenido de azufre en el combustible en la vida útil de los motores Detroit Diesel serie 149.



**Fig. 3.2 Incidencia del azufre en la vida útil del motor.**

El petróleo crudo viene mezclado con azufre, nitrógeno, oxígeno, agua y ceniza; de ellos el más nocivo es el azufre. El contenido de azufre en el combustible diesel, depende de la capacidad tecnológica de las refinerías para disminuir dicho contenido, el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) se forma de la reacción del agua ( $H_2O$ ) y el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) que al igual que el anhídrido carbónico ( $CO$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) son productos de la combustión del combustible diesel 2 y el aire en la cámara de combustión del motor; la formación de ácido sulfúrico es directamente proporcional al contenido de azufre del combustible y se incrementa durante el funcionamiento del motor en mínimo y a bajas temperaturas de operación, los ácidos no salen expulsados de la cámara de combustión como sucede con los

gases, si no se quedan en las paredes del cilindro, la cabeza y anillos de pistón y tienden a fugarse por los anillos hacia el cárter.

Además, el azufre es el mayor contribuyente en las partículas de escape, por ello las regulaciones de emisiones de gases en los EUA, han limitado a 0,05% (500 ppm) el contenido de azufre en el combustible diesel utilizados en los motores diesel en carretera (On-highway) a partir de octubre de 1993. Para evitar las consecuencias de utilizar un combustible con alto contenido de azufre, Detroit Diesel recomienda reducir el periodo entre cambios de aceite de motor o utilizar aceite lubricante con mayor reserva alcalina, que se mide a través del número básico total (TBN).

### **3.4. DESCRIPCIÓN DE FALLAS EN EL MOTOR, DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN**

Detroit Diesel, dio las recomendaciones con respecto a la utilización de un lubricante con mayor TBN, para contrarrestar las consecuencias que pueden derivar por el uso de un combustible diesel con alto contenido de azufre, sin embargo los volquetes Komatsu de 240 ton, con motor Detroit Diesel 20V149, empezaron a tener problemas de operación y mantenimiento, presentando los siguientes inconvenientes:

- Pérdida de potencia: originada por una mala combustión, por inyectores desgastados y obstrucción del filtro para petróleo (alta caída de presión en el sistema de combustible).
- Paradas imprevistas, por la mayor frecuencia en el cambio de los filtros para petróleo (los cambios de los filtros los tenían que realizar en la mina).

- Inyectores desgastados: tenían que ser reparados o cambiados antes de las horas especificadas por el fabricante.
- Pistones perforados: producto de inyectores desgastados, no había buena presurización formándose una flama en forma de soplete, perforando los pistones.
- Mayor consumo de filtros para petróleo: los filtros no llegaban a las horas especificadas por el fabricante, alto costo de inventario.

Como resultado final: Mayores costos de operación y mantenimiento.

### **3.5 ANÁLISIS DE DETROIT DIESEL, SEGÚN CÓDIGOS DE LIMPIEZA ISO 4406**

Detroit Diesel, realiza un análisis sobre el nivel de contaminación de partículas que tiene el petróleo usado en la mina de Toquepala, para luego compararlo con el nivel de limpieza requerido por los motores Detroit Diesel 20V149.

El método empleado, se basa en la norma ISO 4406, mediante el uso del contador de partículas, se determina el numero de partículas por tamaño (en micras), permitiendo obtener los siguientes códigos ISO de limpieza:

- Muestra Mina Código ISO 20/15 :
  - # 20 para partículas  $\geq$  a 05 micras
  - # 15 para partículas  $\geq$  a 15 micras
- Nivel de limpieza especificada por el fabricante Código ISO 18/09:
  - # 18 para partículas  $\geq$  a 05 micras

- # 9 para partículas  $\geq$  a 15 micras

Los códigos de limpieza obtenidos en mina son mayores, el número de partículas encontradas en el petróleo no cumplen con lo especificado por el fabricante.

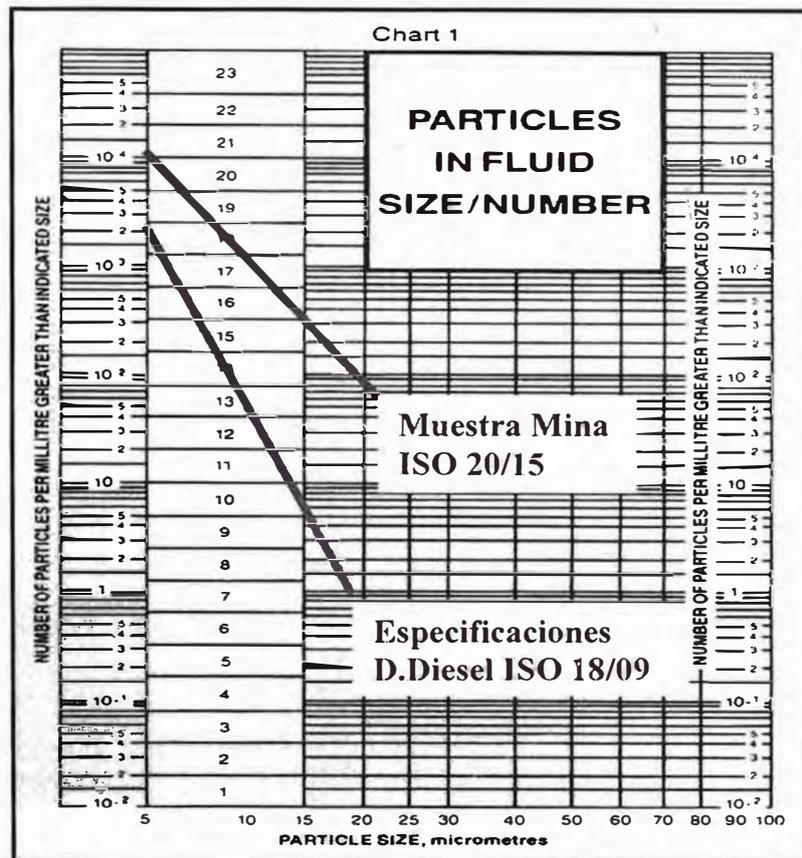


Fig.3.3 Número de partículas por tamaño / Código ISO.

En la cartilla (Fig. 3.3); podemos determinar el número de partículas, de acuerdo al código ISO, tomando como base los tamaños de partículas de 05 y 15 micras:

- Muestra mina, código ISO 20/15:
  - # 20 para partículas  $\geq$  a 05 micras (5.000 a 10.000) partículas/ml
  - # 15 para partículas  $\geq$  a 15 micras (160 a 320) partículas/ml
- Nivel de limpieza especificada por el fabricante Código ISO 18/09:

- # 18 para partículas  $\geq$  a 05 micras (1.300 a 2.500) partículas/ml
- # 9 para partículas  $\geq$  a 15 micras (2,5 a 5) partículas/ml

### 3.5.1 Planteamiento del Problema

Detroit Diesel, concluye que el petróleo utilizado por la mina presenta una alta contaminación, comparado con el nivel de limpieza exigido por el fabricante. De acuerdo a los resultados obtenidos según el conteo de partículas y de acuerdo a la Norma ISO 4406, se tiene:

- Para partículas  $\geq$  a 05 micras, el fabricante especifica 2.500 partículas/ml como máximo, encontrándose 10.000 partículas/ml.
- Para partículas  $\geq$  a 15 micras, el fabricante especifica 5 partículas/ml como máximo, encontrándose 320 partículas/ml.

La mayor cantidad de partículas contaminantes encontradas en la muestra de petróleo diesel en mina, están generando problemas en el motor: desgaste de inyectores, saturación prematura de los filtros, pérdida de potencia y pistones perforados.

Se recomienda mejorar el nivel de limpieza del combustible, de acuerdo a lo especificado por el fabricante para los motores Detroit Diesel 20V149.

## **CAPÍTULO 4**

### **REDUCION DEL NIVEL DE CONTAMINACION**

#### **4.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

De acuerdo al resultado obtenido por Detroit Diesel, de alta contaminación de partículas en el petróleo, se analiza las características técnicas para el filtrado de combustible y su nivel de eficiencia.

El sistema de combustible “Fuel Pro 40”, del motor 20V149, cuenta con un sistema separador de agua y un filtro para la retención de partículas MEGA FILTER con código 23512631 (Anexo IV) , este sistema de filtrado esta ubicado en la línea de presión de la bomba de transferencia y otorga los siguientes beneficios:

- 250 horas de vida
- 05 micras de filtración del filtro 23512631
- Alta eficiencia en la separación del agua
- Máxima vida de los inyectores
- Baja caída de presión para una máxima potencia

En las especificaciones del filtro original indican 05 micras, pero no la eficiencia de filtrado, es importante tener ambos datos para poder evaluar su nivel de eficiencia por tamaño de partículas. Para evaluar el nivel de eficiencia del filtro original, contamos con los resultados de la Prueba Multi-pass efectuada al filtro para petróleo, equivalente en la marca Baldwin (BF799D), según se muestra en los reportes de laboratorio (Anexo V). La prueba multi-pass arrojó los siguientes valores de eficiencia según el índice Beta, para las partículas de 05, 10 y 12 micras:

	Eficiencia %	Micras
<b>Beta(5) = 2</b>	50,00	5
<b>Beta(10) = 16,4375</b>	93,92	10
<b>Beta(12) = 75</b>	98,75	12

De acuerdo al cuadro, el nivel de eficiencia del filtro Baldwin BF799D, equivalente al filtro original 23512631, es de 50% para partículas de 05 micras. El nivel de eficiencia obtenido, lo aplicamos para comparar el número de partículas del combustible usado en mina y el recomendado por el fabricante:

Procedencia del combustible	Número de Partículas retenidas por el filtro 23512631		
	Micronaje	Eficiencia Nominal 50%	
	05 micras	Partículas retenidas	Partículas no retenidas
Muestra en mina	10.000	5.000	5.000
Muestra Diesel	2.500	1.250	1.250

La cantidad de partículas, presentes en el combustible de la mina es cuatro veces mayor a lo recomendado por el fabricante, provocando una acelerada saturación de

los filtros, además el filtro sólo puede atrapar un 50% de las partículas de 05 micras, por lo tanto existen 5.000 partículas que pasan directamente a los inyectores, comparado a las 1.250 partículas especificado por el fabricante, esto genera un mayor desgaste. La propuesta de solución incidirá en la reducción drástica de la alta concentración de partículas de 05 micras:

- Instalación de un prefiltro en la línea de succión del sistema de combustible del motor, con un elemento de alta eficiencia en el rango de 05 micras.
- Instalación de un filtro de alta eficiencia en el grifo Lado 8, para reducir la alta concentración de partículas menores a 05 micras.

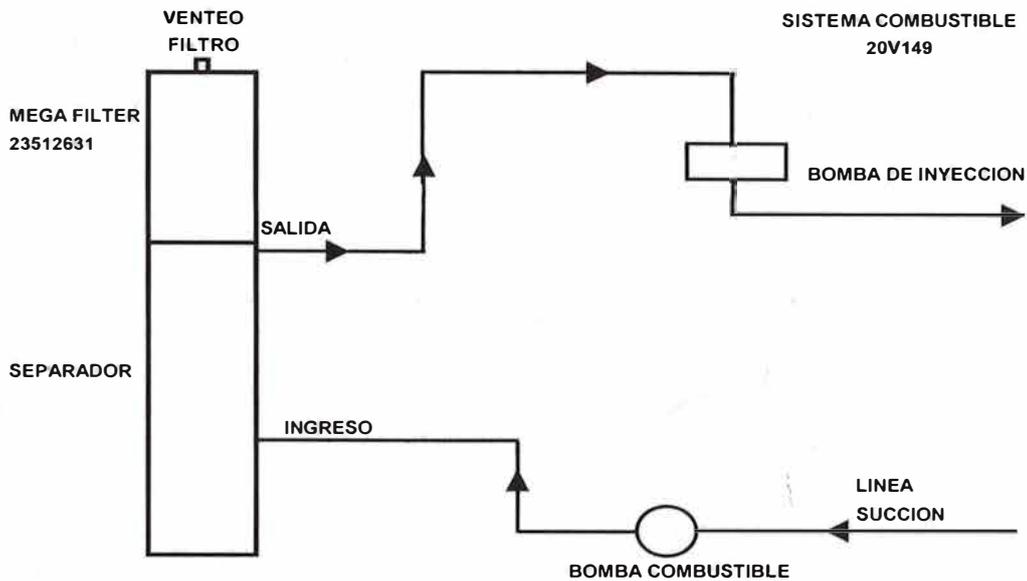
## **4.2 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE UN PREFILTRO EN LA LÍNEA DE COMBUSTIBLE**

El prefiltro se selecciona de acuerdo a las características del motor y su elemento filtrante de acuerdo a los niveles de contaminación del combustible y restricción máxima permitida.

### **4.2.1 Características del sistema de combustible del motor 20V149**

El prefiltro se instalará en la línea de succión de acuerdo al circuito que se muestra en la Fig. 4.1, teniendo como objetivo monitorear su nivel de restricción, el cual deberá ser menor a los máximos permitidos por el fabricante, trabajar por encima de esos valores afectaría la potencia del motor:

- Caída máxima de succión con filtro limpio: 6" Hg
- Caída máxima de succión con filtro saturado: 12" Hg



**Fig. 4.1. Sistema de combustible del motor 20V149**

#### 4.2.2 Características y selección del prefiltro

Para la selección del prefiltro, se debe conocer el caudal máximo que circula a través del sistema de combustible, el cual se determina por dos métodos:

##### a. **Conociendo la Potencia del motor:**

La potencia máxima del motor Detroit Diesel 20V149TI, es de 2500 HP. Existe una fórmula experimental de Parker Hannifin, fabricante de pre-filtros Separadores Racor, que indica:

- Caudal (GPH) = Potencia máxima (HP) x 0,18
- Caudal = 2500 x 0,18 = 450 GPH = 7,5 GPM

##### b. **Midiendo el caudal en el sistema de combustible:**

Debido a que la mina contaba con un banco de prueba para sus motores, se realizó la medición del caudal instalando un rotámetro y

evaluando a diferentes regímenes de carga, según se observa en la tabla A., el caudal máximo es de 6 galones/minuto (GPM) y se obtiene a 1.900 RPM, en vacío.

**Tabla A: Medición del caudal en un Banco de Prueba**

DATO DEL CAUDAL OBTENIDO EN UN BANCO DE PRUEBA		
CAUDAL GPM	RPM	CARACTERISTICA
3,4	1.200	20% DE CARGA
4,3	1.500	25% DE CARGA
5,2	1.800	40% DE CARGA
4,7	1.900	75% DE CARGA
4,2	1.900	100% DE CARGA
6	1.900	VACIO ( * )

De acuerdo a los datos de caudal, se selecciona un prefiltro que pueda trabajar en el rango de 6 a 7,5 GPM. El prefiltro seleccionado es el LFWP2530 (Fig. 4.2), un modelo de doble carcasa, que trabaja con elementos filtrantes de 16, 28 ó 50 micras con eficiencia absoluta, tal como se muestra en la tabla B.

Para el presente caso, donde se tiene como propuesta reducir la máxima cantidad de partículas finas, se evaluara el elemento de menor micronaje, de 16 micras (LWP3013S), en paralelo se evaluara el nivel de restricción en la línea de succión, cuyos valores deberán de estar por debajo de máximos permisibles recomendados por el fabricante, para no afectar el rendimiento del motor.

CODIGO LYS	CARACTERISTICAS
LFWP2530	CAUDAL RECOMENDADO : 6 GPM CAUDAL MAXIMO : 10,83 GPM FILTRO DE CARCAZA DOBLE CON TRES ETAPAS DE FILTRADO
LWP3013S	ELEMENTO DE 16 MICRONES EFICIENCIA ABSOLUTA : 98,7 %
LWP3013T	ELEMENTO DE 28 MICRONES EFICIENCIA ABSOLUTA : 98,7 %
LWP3013P	ELEMENTO DE 50 MICRONES EFICIENCIA ABSOLUTA : 98,7 %

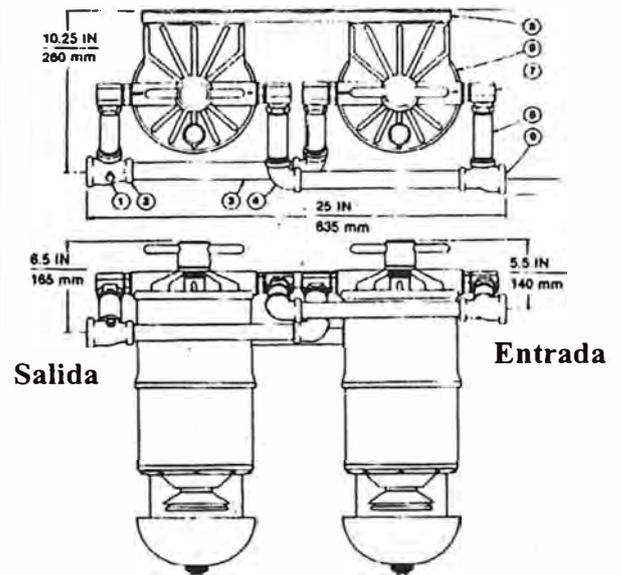


Fig. 4.2 Prefiltro de doble carcasa LFWP2530 y sus características técnicas.

El prefiltro cuenta con características especiales de funcionamiento, con 03 etapas de filtrado: separación, coalescencia y filtrado, que optimizan el nivel de captación de partículas y separación del agua, tal como podemos describir en la Fig. 4.3.

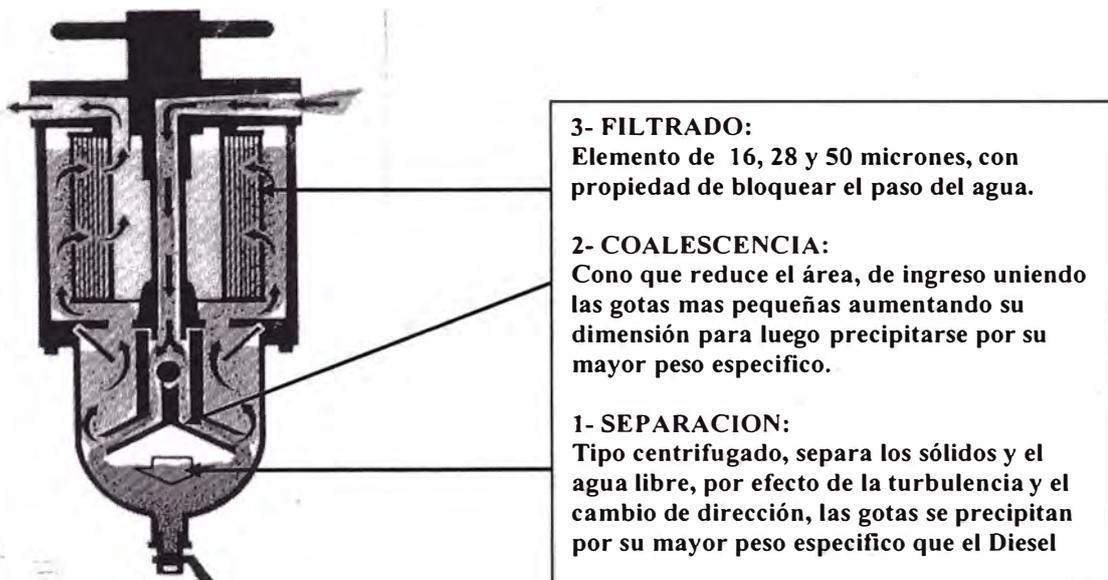
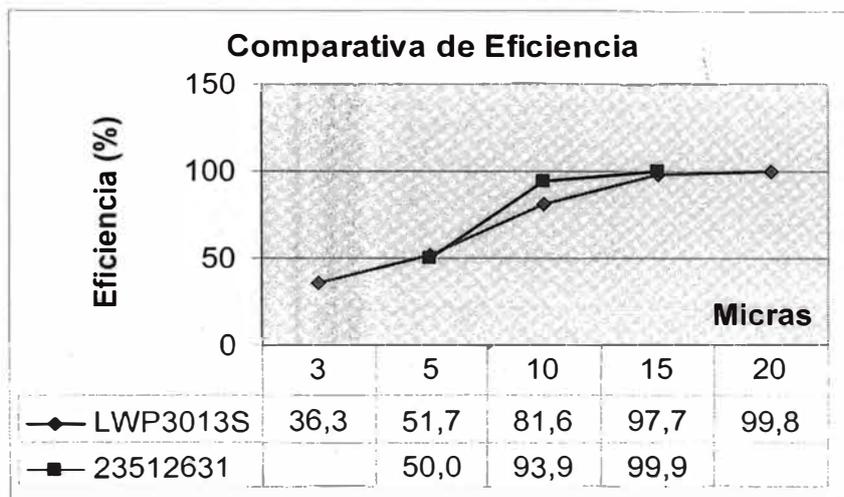


Fig. 4.3 Sistema de Prefiltro con 03 etapas de filtrado.

En el siguiente grafico (Fig.4.4), se muestran las curvas de eficiencia, de acuerdo a la prueba multi-pass del elemento usando como prefiltro el LWP3013S (primera etapa de filtrado) y el filtro final Detroit Diesel 23512631 (segunda etapa de filtrado), guardando una relación de filtrado por etapas de mayor a menor.



**Fig. 4.4. Curvas de eficiencia: LWP3013S vs. 23512631.**

#### **4.2.3 Evaluación del Prefiltro en el volquete**

Para la evaluación se tomaron las siguientes consideraciones técnicas:

- a. Instalación del prefiltro en la línea de succión
- b. Se verificará que no haya restricciones de espacio para su instalación
- c. Debe haber espacio suficiente para retirar el elemento y vaciar los contaminantes del recipiente
- d. Determinar la longitud y el diámetro adecuados de la manguera y los conectores, evitando problemas de restricciones.

- e. Se instalará una válvula esférica, para sacar muestra de petróleo a la salida del prefiltro
- f. Se instalará un vacuómetro de vacío a la salida del prefiltro para ir evaluando su nivel de restricción, de acuerdo a los siguientes parámetros de medición:
  - Elemento limpio: máximo 6“ Hg
  - Elemento saturado: máximo 12“ Hg
- g. Las restricciones serán medidas cuando el volquete entre a un mantenimiento programado en el taller a las 0 y 350 horas, con el motor a plena carga, para evaluar su máxima restricción al vacío.
- h. Para las muestras de petróleo, se utilizaran envases de 250 ml.

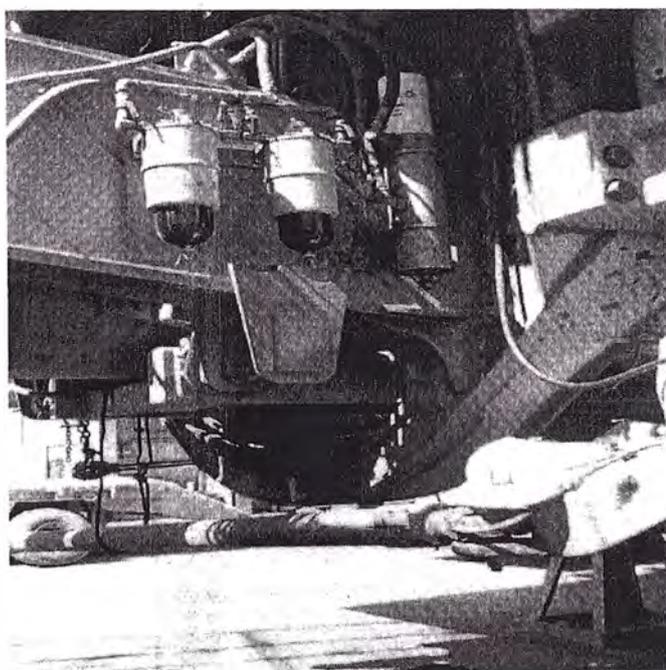
#### **4.2.4 Resultados de la Prueba**

En la tabla B, se muestran los resultados de la prueba de restricción al flujo, los valores obtenidos están por debajo de los máximos permisibles recomendado por el fabricante, lo cual garantiza un correcto funcionamiento del motor. La selección del filtro LFWP2530 y su elemento filtrante LWP3013S, de 16 micras garantizaran un correcto prefiltrado del combustible a niveles de 05 micras, sin afectar el rendimiento del motor.

**Tabla B: Resultados de Restricción al Flujo**

FILTRO	SERVICIO (Hrs)	RESTRICCIÓN ("Hg)	OBSERVACIONES
LFWP2530 CON ELEMENTOS LWP3013S	0	2,3	CONFORME EL FABRICANTE RECOMIENDA RESTRICCIÓN MAXIMA CON FILTROS LIMPIOS DE 6"Hg
	350	5,5	CONFORME EL FABRICANTE RECOMIENDA RESTRICCIÓN CON FILTROS SATURADOS DE 12"Hg EL ELEMENTO PUEDE LLEGAR A DURAR 350 HORAS MAS, POR MOTIVO DE MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO SE RECOMIENDA CAMBIAR CADA 350 Hrs.
LWP3013S 16 MICRAS ABSOLUTO	350	5,5	CONFORME LA RESTRICCIÓN ES MENOR A 12 "Hg PERMITIRA CAPTURAR UNA MAYOR CANTIDAD DE PARTICULAS FINAS DE 05 MICRAS

En la Fig. 4.5, se muestra el prefiltro LFWP2530, instalado en la línea de succión del motor 20V149, para el volquete marca Komatsu de 240 ton.



**Fig. 4.5 Prefiltro instalado en el volquete marca Komatsu.**

### 4.3 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE UN FILTRO DE ALTA EFICIENCIA EN EL GRIFO.

Se realiza el análisis de las muestras del petróleo, en el grifo lado 8 de Toquepala, para evaluar su nivel de limpieza según la norma ISO 4406, verificándose una alta concentración de partículas de 05 micras, comparado con los niveles de limpieza solicitado por Detroit Diesel, según se muestra en la tabla C.

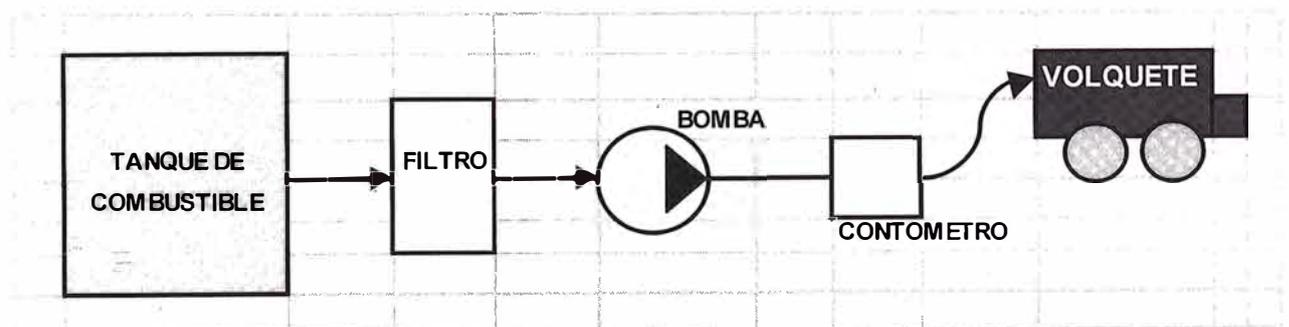
**Tabla C: Resultados por conteo de partículas del grifo Lado 8**

MUESTRA	PARTICULAS EN MICRONES MAYORES A								CODIGO ISO
	5	10	15	20	25	50	75	100	
GRIFO LADO 8	44.269	13.066	1.645	160	59	11	2	1	23 / 18
DETROIT DIESEL	2.500	60	5						18 / 09-

#### 4.3.1 Características del Sistema de filtrado en el grifo.

De acuerdo al sistema de instalación (Fig. 4.6), se tiene los siguientes datos:

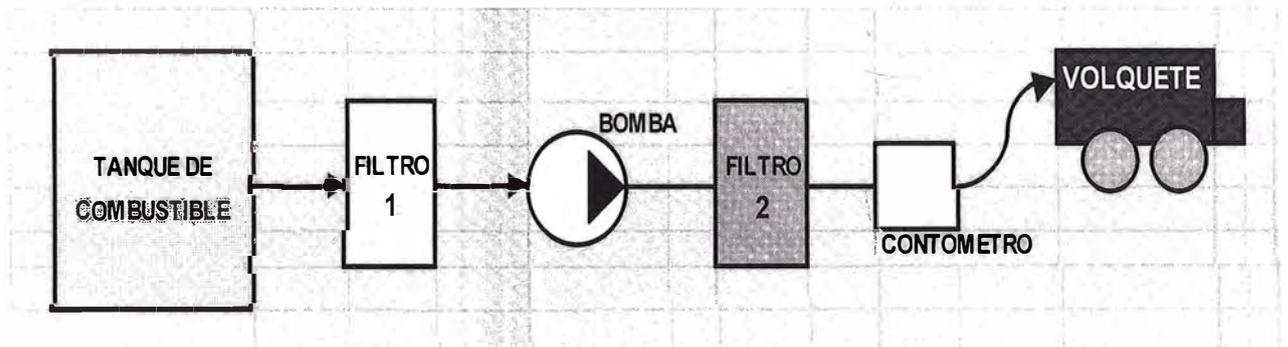
- Presión de la bomba : 100 PSI
- Caudal de la bomba : 80 GPM
- Conexión : 2"
- Filtro en la línea succión : 28 micras absoluto



**Fig. 4.6. Esquema de instalación actual del grifo de Toquepala.**

#### 4.3.2 Características y selección del filtro de alta eficiencia.

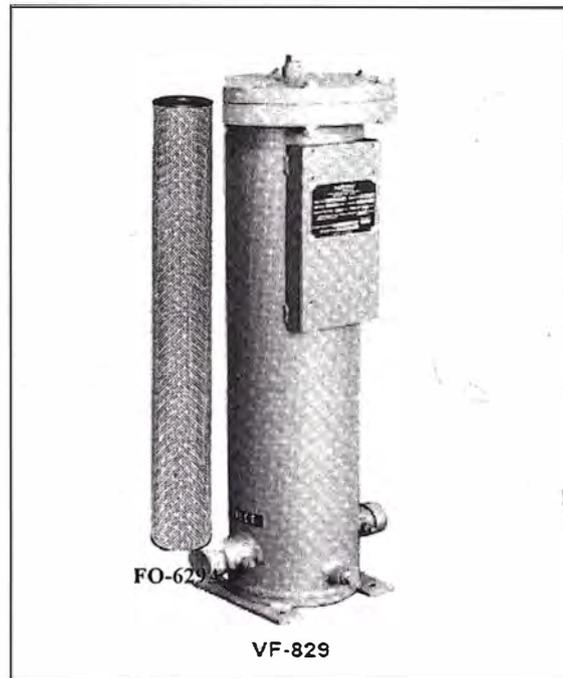
Para el nuevo sistema de filtrado en el grifo se instalará un filtro de alta eficiencia después de la bomba y se mantendrá el filtro 1, para un prefiltrado y protección de la bomba (Fig. 4.7).



**Fig. 4.7 Esquema de la nueva instalación en el grifo de Toquepala.**

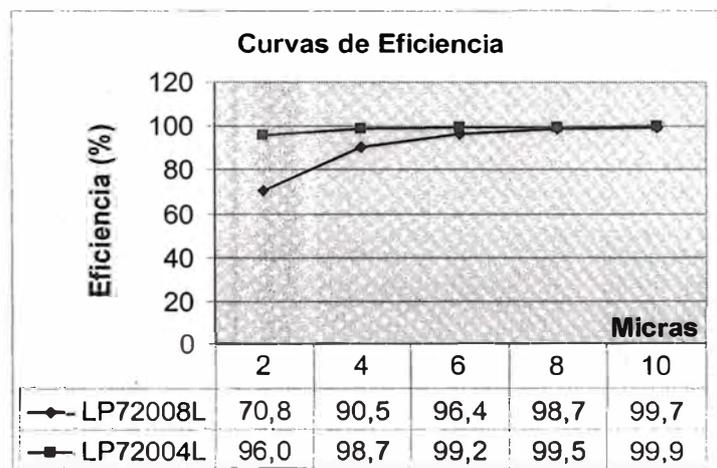
Para la selección del filtro, se toma como base el caudal de la bomba del grifo de 80 GPM, del Anexo VI, seleccionando el siguiente modelo (Fig. 4.8):

- Filtro Velcon, modelo VF829 para 100 GPM
- El elemento filtrante es el FO-629A3 ( 6"x29"x3 ½" DI )



**Fig. 4.8. Filtro y Elemento filtrante para grifo**

El elemento filtrante FO-629A3, será evaluado en dos tipos de medios filtrantes, a los cuales llamaremos LP72004L (04 micras absoluto) y LP72008L (08 micras absoluto). En la Fig. 4.9, se muestran las curvas de eficiencia multi-pass.



**Fig. 4.9. Curvas de eficiencia LP72008L y LP72004L**

#### **4.3.3 Evaluación del filtro en el grifo.**

Para la evaluación se tomará las siguientes consideraciones técnicas:

- a. Instalación de un filtro en la línea de presión
- b. Se verificará que no haya restricciones de espacio para su instalación.
- c. Debe haber espacio suficiente para retirar el elemento.
- d. Determinar la longitud y el diámetro adecuado de la manguera y los conectores, evitando problemas de restricciones.
- e. Se extraerán muestras de petróleo después del contómetro
- f. Se instalará un manómetro diferencial para evaluar su nivel de restricción, de acuerdo a los siguientes parámetros de medición:
  - Elemento limpio: 2 PSI
  - Elemento saturado: 15 PSI
- g. Se determinará la duración del filtro de acuerdo a su nivel de saturación máxima
- h. Para las muestras de petróleo, se utilizarán envases de 250 ml.

#### **4.3.4 Resultados de la prueba**

En la tabla D, se muestran los resultados del nivel de limpieza obtenido en el grifo lado 8, usando elementos filtrantes de 04 y 08 micras

**Tabla D: Resultado comparativo de los niveles de limpieza del grifo Lado 8**

MUESTRA	PARTICULAS EN MICRONES MAYORES A									DURACION	ELEMENTO	
	5	10	15	20	25	50	75	100	CODIGO ISO			
DETROIT DIESEL	2.500	60	5							18 / 09-	SEGUN FABRICANTE	
GRIFO LADO 8A	44.269	13.066	1.645	160	59	11	2	1		23 / 18	SIN FILTRO ALTA EFICIENCIA	
GRIFO LADO 8B	14.015	2.176	266	59	26	4	1	0		21 / 15	30 DIAS	08 MICRAS
GRIFO LADO 8C	9.281	1.145	219	83	45	6	1	0		20 / 15	10 DIAS	04 MICRAS

Se observa una reducción drástica de los niveles de contaminación de partículas de 05 micras, usando los dos tipos de medios filtrantes de 04 y 08 micras, se recomienda usar el medio filtrante de 08 micras para adecuarlo a un programa de mantenimiento mensual para el cambio de filtro.

#### **4.4 RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN.**

Se realizará un análisis de la reducción del nivel de contaminación desde el grifo hasta el prefiltro del volquete y los beneficios proporcionados para una mejor disponibilidad del equipo.

##### **4.4.1 Resultados del nivel de contaminación en cada etapa de filtrado.**

En la tabla E, se muestran los niveles de contaminación del petróleo antes de la instalación de los filtros, con consecuencias de baja disponibilidad de los volquetes, y de qué manera se logra reducir los niveles de contaminación con la instalación del filtro en el grifo y el prefiltro en el volquete.

**Tabla E: Comparativa de los niveles de contaminación en cada etapa**

Procedencia de la muestra	Numero de particulas por tamaño		
	Tamaño de Particulas		Codigo ISO
	5 micras	15 micras	
Salida del grifo sin filtro	44.269	1.645	23/18
Salida del filtro de 08 micras	14.015	266	21/15
Salida del Prefiltro	3.957	38	19/12-
Especificaciones Detroit	2.500	5	18/09-

Para las partículas de 05 micras se logra reducir de 44.269 hasta 3.957 partículas y para 15 micras de 1.645 hasta 38 partículas, antes del filtrado final correspondiente al filtro Detroit diesel 23512631, los valores obtenidos a la salida del prefiltro están muy cercanos a lo especificado por Detroit Diesel, para sus motores 20V149.

#### 4.4.2 Nueva duración de los componentes críticos

De acuerdo a los mejores niveles de limpieza en el combustible se obtiene mejora en la duración de los filtros e inyectores de acuerdo a las especificaciones del fabricante, según se muestra en el siguiente cuadro:

Componente	Duración en mina (Hrs)		Especificaciones Fabricante (Hrs)
	Antes	Ahora	
Inyectores	2.000	4.000	5.000
Filtros	125	350	350

- Se realiza el recambio óptimo del filtro Detroit 23512631, de 125 a 350 h.
- Se eliminaron las paradas imprevistas, por pérdida de potencia (filtros e inyectores), se mejora la disponibilidad de los volquetes

- No hay pistones perforados en los programas de reparación del motor, debido a la notable mejora en la combustión
- Se eliminan los problemas de reparación y cambio de inyectores a las 2.000 h, éstos son reparados cada 4.000 h, de acuerdo al programa de reparación parcial del motor de 8.000 h

## **CAPITULO 5**

### **ANALISIS DE COSTOS**

De acuerdo a los valores de mercado por reparación, costo de máquina parada y costo de repuestos, se puede estimar el ahorro que genera la implementación de un mejor nivel de limpieza en el sistema de combustible.

#### **5.1. COSTOS DEBIDO A LA ELEVADA CONTAMINACIÓN EN EL COMBUSTIBLE**

En la tabla F, se muestra el gasto anual de los 13 volquetes, debido a la alta contaminación del combustible, el costo estimado asciende a US\$ 652.080.

**Tabla F: Costos generados por la alta contaminación del combustible**

COMPONENTE	OBSERVACIONES	COSTO UNITARIO \$	TOTAL \$
Inyectores	Los 13 volquetes, tienen un total de 260 inyectores, los cuales deben ser reparados a las 4.000 hrs. Sin embargo los reparan en promedio a las 2.000 hrs. Al año están reparando 1.040 inyectores.	500 \$ / inyector	520.000
Pistones Perforados	Como consecuencia de los inyectores desgastados, se encuentran 02 pistones perforados por volquete, a las 8.000 hrs, al año necesitan ser reparados 26 pzas.	1.500 \$ / pistón	39.000
Máquina parada por cambio de filtro	El tiempo de paralización de un volquete por cambio de filtro es de 10 minutos, si esto ocurre cada 125 hrs, tenemos un total de 40 minutos/mes por volquete, para los 13 volquetes en 01 año tenemos un total acumulado de 104 hrs.	100 \$ / hora	10.400
Costo del filtro Detroit 23512631	La frecuencia de cambio de los filtros es de 350 hrs (02/mes), sin embargo están cambiando en promedio a las 125 hrs (06/mes), los 13 volquetes estarán consumiendo al año 936 pzas.	55 \$ / filtro	51.480
Máquina parada por problema de inyectores	Horas perdidas por reparación imprevista por cambio de inyectores ( 2.000 hrs ), para los 13 volquetes se tiene 02 paralizaciones al año, el tiempo para la reparación es de 12 hrs. El tiempo total es de 312 hrs.	100 \$ / hr	31.200
<b>COSTO ESTIMADO ANUAL</b>			<b>US\$ 652.080</b>

## 5.2. AHORRO ANUAL, DEBIDO A LA MEJORA EN EL NIVEL DE LIMPIEZA DEL COMBUSTIBLE

En la tabla G., se muestra la reducción de costos de acuerdo a los nuevos parámetros de duración de los inyectores y filtros.

**Tabla G: Costos generados por la menor contaminación del combustible**

COMPONENTE	OBSERVACIONES	COSTO UNITARIO \$	TOTAL \$
Inyectores	Los 13 volquetes, tienen un total de 260 inyectores, los cuales seran reparados a las 4,000 hrs. Total de inyectores reparados al año = 520 pzas.	500 \$ / inyector	260.000
Pistones Perforados	Como consecuencia de un menor desgaste en los inyectores y mejora en la combustión se eliminan los problemas de pistones perforados.	0 \$ / pistón	0
Máquina parada por cambio de filtro	Se eliminan las paradas de maquina por cambio prematuro de filtros	0 \$ / hora	0
Costo del filtro Detroit 23512631	La frecuencia de cambio de los filtros es de 350 hrs (02/mes), los 13 volquetes estaran consumiendo al año 312 pzas.	55 \$ / filtro	17.160
Máquina parada por problema de inyectores	Se eliminan los problemas por paradas imprevistas de los inyectores	0 \$ / hr	0
Costo de los nuevos filtros instalados	13 Prefiltros LFWP2530	500 \$ / Prefiltro	6.500
	01 Filtro de alta eficiencia en el grifo	5.000 \$ / Filtro	5.000
Costo de los filtros elementos	02 elementos LWP3013S por volquete, recambio de 04/mes, para los 13 volquetes, consumen al año 312 pzas	13 \$ / Filtro	4.056
	01 elemento por grifo, para un consumo anual de 12 pzas	40 \$ / Filtro	480
<b>NUEVO COSTO ESTIMADO ANUAL</b>			<b>US\$ 293.196</b>

De acuerdo a los nuevos costos, se obtiene un ahorro anual de **US\$ 358.884**, producto de los mejores niveles de limpieza en el combustible.

$$\text{Ahorro} = 652.080 - 293.196 = \text{US\$ } 358.884$$

## CONCLUSIONES

1. Del presente informe se puede concluir, de que un combustible, para este caso particular el Diesel 2, no solo debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM D975 y con las especificaciones de los fabricantes del motor, además debe de complementares con un análisis por conteo de partículas para evaluar su nivel de contaminación y clasificarlo dentro del código de limpieza ISO-4406. Los resultados que se obtuvieron de las muestras analizadas arrojaron un combustible de alta concentración de partículas de 05 micras (10,000 partículas/ml versus el recomendado por el fabricante 2,500 partículas/ml), esta mayor contaminación ocasionaba la saturación prematura de los filtros para combustible y un desgaste acelerado de los inyectores, con pérdida de disponibilidad del equipo.
2. Se comprueba la efectividad del uso del Pre-filtro en el motor Detroit Diesel 20V, el cual ha permitido alargar la vida del filtro final 23512631 ( de 120 a 350 hrs), esto se debió principalmente a la correcta selección del micronaje del medio filtrante, para el cual se tenia 03 alternativas, de 16, 28 y 50 micras. --Debido a que el nivel de contaminación del combustible arrojaba alta concentración de partículas de 05 micras, se optó por el medio filtrante mas

fino de 16 micras absoluto, para retener la mayor cantidad de partículas finas, la validación de la selección del micronaje del medio filtrante, fue conforme debido a los niveles de restricción obtenido en la línea de succión el cual arrojo 5.5 “Hg, esta cantidad, es inferior a la recomendada por el fabricante 12 “Hg.

3. Para complementar la reducción de los niveles de contaminación del combustible, se instalaron filtros de alta eficiencia en los grifos, los cuales contribuyeron a reducir los niveles de contaminación, esto se pudo comprobar al realizar el análisis por conteo de partículas en cada una de las etapas de filtrado, la reducción del nivel de contaminación fue según código ISO-4406, de 23/18 (44.269 (05 mic), 1.645 (15 mic)) a 19/12 (3.957 (05 mic), 38 (15 mic)), este código ISO, es muy cercano al recomendado por el fabricante del motor 18/09 (2.500 (05 mic), 5 (15 mic)). Los resultados por un menor nivel de contaminación fueron inmediatos, lográndose eliminar paradas imprevistas del equipo por pérdida de potencia del motor debido a saturación prematura del filtro final.
4. Mejorar los niveles de filtración en los equipos trae ahorros en los costos de operación y mantenimiento, esto se refleja en el presente informe. Antes de la implementación de los Prefiltros en los volquetes y Filtros de alta eficiencia en los grifos, se estimaba un costo anual de US\$ 652.080, este costo se ha podido reducir mejorando los niveles de filtración reduciendo el nivel de

contaminación en el combustible, el costo después de la implementación es de US\$ 293.196, por lo tanto el ahorro estimado es de US\$ 358.884.

5. Este informe es un ejemplo del mantenimiento proactivo, aplicado al control de la contaminación, se atacó directamente el origen de las falla (elevada contaminación), su reducción originó una mayor disponibilidad de los equipos, eliminando la saturación prematura del filtro y un mejor rendimiento de los inyectores. Reducir la contaminación es atacar directamente el origen del mayor porcentaje de fallas en los equipos, que es el desgaste mecánico.
  
6. Los fabricantes de motores exigen un nivel mínimo de eficiencia en el filtrado de partículas para los sistemas de admisión (filtros para aire), sistemas de lubricación (filtros para aceite) y sistemas de combustible (filtros para petróleo y/o separadores de agua), sin embargo, es posible usar medios filtrantes más eficientes, por encima de lo exigido por el fabricante con el objetivo de reducir el desgaste de los componentes, para aumentar su vida útil, mejorando la disponibilidad de los equipos.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe implementar un programa de monitoreo constante de los fluidos que emplea el motor en operación, para evaluar en forma permanente su nivel de contaminación según las horas de operación, en las unidades de transporte en minería y en las estaciones de distribución de combustible (grifos).
2. El personal operativo y técnico responsable de las unidades de transporte en minería deben ser capacitados en forma permanente para garantizar la implementación del programa de monitoreo y control de los niveles de contaminación de los fluidos que emplean las unidades.

## BIBLIOGRAFIA

1. **Filtros RACOR:** Catalogo de Productos, refacciones, Servicio e Informes técnicos; N° 7509; Abril 1996.
2. **Filtros DAHL - BALDWIN:** Catalogo de Filtros para combustibles diesel y Separadores de agua; N° FORM 4005 R3/97; Año 1997.
3. **Filtros VELCON:** Manual de filtros y carcazas; N°1507/A-RO 1/99 PN 09-929; Año 1999.
4. **DETROIT DIESEL:** Catalogo de servicios del motor Detroit Diesel serie 149; Año 1993.
5. **Norma ISO4406:** Método de codificación del nivel de contaminación de partículas sólidas para fluidos hidráulicos; N° Ref: ISO4406-1999(E); 2da. 1999-12-01.
6. **Norma ISO16889:** Evaluación de un filtro elemento según método Multipass – Filtros para aceite hidráulicos; N° Ref: ISO16889-1999(E); 1era. edición 1999-12-15.
7. **Norma ISO4572:** Calibración del contador de partículas para líquidos – Fluidos hidráulicos; N° Ref: ISO11171:1999(E); 1era. edición 1999-12-01.
8. **Norma ISO/TR13353:** Filtros para combustible diesel para un motor de combustión interna – Eficiencia inicial por conteo de partículas, Capacidad de retención y Eficiencia gravimétrica; N° Ref: ISO/TR13353:1994(E); 1era. edición 1994-10-01.
9. **Christopher Dickenson:** Filter and Filtration Handbook; Editorial Elsevier Advanced Technology; 3era. edición 1992.
10. **Norma Técnica Peruana:** NTP 321.003/2005; Petróleo y Derivados-Diesel-Especificaciones técnicas; Año 2005.
11. **Aldama Meza, Raul Walter:** Informe de Suficiencia M3-IE 2087; Uso de Aceite Lubricante con TBN mayor a 7 en motores Diesel Detroit serie 149 que usan combustible diesel 2 con alto contenido de azufre; Año 2000.

# ANEXOS

ANEXO I

CODIGOS ISO DE LIMPIEZA

<b>ISO 4406 Chart</b>		
<b>Range Number</b>	<b>Number of particles per ml</b>	
	<b>More than</b>	<b>Up to and including</b>
24	80,000	160,000
23	40,000	80,000
22	20,000	40,000
21	10,000	20,000
20	5,000	10,000
19	2,500	5,000
18	1,300	2,500
17	640	1,300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	.64	1.3
6	.32	.64

## ANEXO II

### ESPECIFICACION ASTM D975

#### Resumen

D975-98bel Especificación Estándar para combustible Diesel  
Copyright 2000 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, West  
Conshohocken, PA. Derechos reservados.

#### 1. Alcance

Esta especificación cubre cinco grados de combustible Diesel apropiados para varios tipos de motores diesel, se describen a continuación los grados:

Diesel 1 con bajo azufre ( Grade Low Sulfur No. 1-D ).- Un combustible de propósito especial, combustible ligero para motores diesel de vehículos que requieren combustible de bajo azufre y alta volatilidad que los que pueden proporcionar por el combustible de bajo azufre No. 2-D

Diesel 2 con bajo azufre ( Grade Low Sulfur No.2-D ).- Un combustible de propósito general, combustible medio destilado para motores diesel de vehículos que requieren un combustible de bajo azufre, es también apropiado para usar en aplicaciones no automotrices, especialmente en condiciones de velocidad y carga variable.

Diesel 1 (Grade No. 1-D).- Un combustible de propósito especial, combustible de destilación ligera, para motores diesel de vehículos que requieren combustible de alta volatilidad que los que puede proporcionar el combustible diesel 2.

Diesel 2 ( Grade No 2-D ).- Un combustible de propósito general, combustible de destilación media para motores diesel de vehículos y aplicaciones no automotrices, especialmente en condiciones de velocidad y carga variable.

Diesel 4 (Grade No. 4-D).- Un combustible de destilación pesada o una mezcla de combustible destilado y residual, para motores diesel de baja y mediana velocidad en aplicaciones no automotrices en lo que predominan velocidad y carga constante.

Esta especificación, a menos que exista un acuerdo entre el comprador y el proveedor, prescribe las requeridas propiedades del combustible diesel en el momento y el lugar de entrega.

Los valores son expresados en unidades de sistema internacional (SI)

### ANEXO III

#### ESPECIFICACIONES DEL COMBUSTIBLE DIESEL PARA MOTORES DETROIT DIESEL

PROPIEDAD	ASTM	DIESEL 1	DIESEL 2
Gravedad API, @ 60°F #	D287	39-44	34-39
Gravedad Especifica, @ 60°F #	D1298	0,806 – 0,825	0,835 – 0,855
Punto de Inflamación, °C, Min.	D93	38	52
Viscosidad Cinemática cSt @ 40°C	D445	1,3 a 2,4	1,9 a 4,1
Azufre % en masa, Max	D2622	0,5 (0,05) ++	0,5 (0,05) ++
Punto de niebla °F (°C)	D2500	Ver Nota 1	Ver Nota 1
Numero de Cetano, Mínimo +	D613	45	45
Índice de Cetano, Mínimo	D4737	40	40
Temperatura de Destilación, °F (°C)	D86	-	-
IBP, Típico #		350 (177)	375 (191)
10% Típico #		385 (196)	430 (221)
50% Típico #		425 (218)	510 (266)
90% Típico #		500 (260)	625 (329)
95% Típico #		550 (288)	671 (355)
Volumen recuperado, % Mínimo #		98	98
Agua, ppm Máximo #	D1744	200	200
Sedimento, ppm Máximo #	D2276 ó D5452	10	10
Ceniza, % Máximo	D482	0,01	0,01
Residuos de carbón sobre 10% en % de masa, Máx.,	D524	0,15	0,35
Corrosión de cobre, Máximo	D130	3b	3b
Estabilidad de almacenamiento acelerado Máximo #	D2274	15 mg/L	15 mg/L
Prueba de Dupont, Ratio Máximo #	TM-F21-61 &	7	7
Lubricidad, gm, Mínimo #	D6078*	2.800	2.800

- \* Prueba de Desgaste
- # No especificado en ASTM D975
- + Difiere de ASTM D975
- ++ El contenido de azufre para el combustible diesel usado en los vehículos de carretera (on-highway) se ha limitado a 0.05% máximo en los EE.UU.
- & Método de prueba alternativo para predecir la estabilidad del combustible, el ratio visual esta referido a la cantidad de partículas colectadas en una escala de 1 (limpio) a 20 (sucio)
- + En los EE.UU de América, el combustible Diesel 2 puede ser usado en motores de vehículos de transporte de pasajeros con el certificado que superan los estándares de emisiones Federal y de California.

Nota 1: El punto de niebla debería estar 10°F (6°C) por debajo de la temperatura del combustible para prevenir que los filtros se tapen por la cristalización.

## ANEXO IV

### SISTEMA DE FILTRADO "FUEL PRO 40" – DETROIT DIESEL

# DETROIT DIESEL

## Series 149 Service Information



NUMBER: 2-149-93

S.M. REF.: 2.3

ENGINE: 149

DATE: January 1993

SUBJECT: NEW "FUEL PRO 40"® FUEL FILTER/SEPARATOR SYSTEM

The new "Fuel Pro 40"® fuel filter/separator system (23512629 - Fig. 1) has been released as an optional service replacement for the original equipment four-filter (two primary, two secondary) system used on Series 149 DDEC engines. The "Fuel Pro 40" system consists of a permanently mounted fuel processor, a replaceable spin-on "Mega Filter"® (23512631), and two U-bolt saddle mounting clamps. The optional system provides these benefits:

- 250-hour service life
- 5 Micron filtration for high efficiency water stripping and maximum injector life
- Low fuel pressure drop for maximum horsepower
- Fast filter element changes

### Installation

The "Fuel Pro 40" system is installed between the fuel pump and the fuel junction block (Fig. 2) after the four-filter system is removed. Refer to the illustrations and install this system as follows:

1. Close the flow control valve (if installed) between the fuel tank and primary filters.
2. Remove the primary and secondary fuel filters and their mounting adaptors. Dispose of fuel and filters in an environmentally responsible manner, according to state and/or federal (EPA) recommendations.

**"Fuel Pro 40" and "Mega Filter" are registered trademarks of the Davco Manufacturing Corporation.**

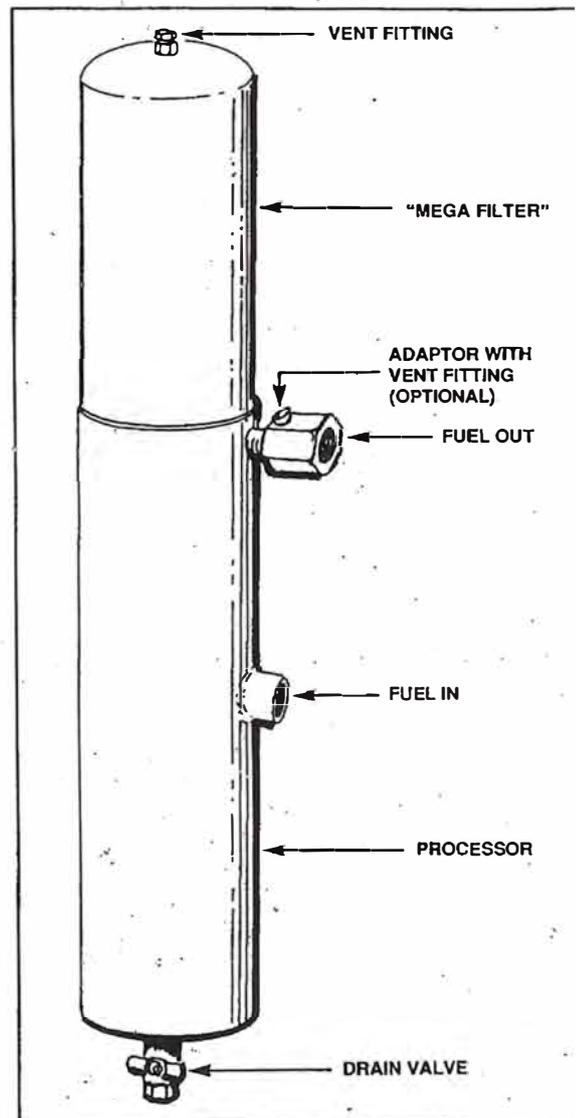


Fig. 1 — "Fuel Pro 40" Filter/Separator System

ANEXO V

PRUEBA MULTIPASS - FILTRO BALDWIN BF799D

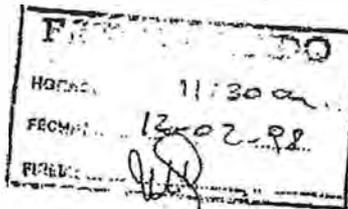
THU, FEB-12-98 8:59AM 0139827

U S VIRG79 W999:8 86-21-93J NHL

98-98 11.48 INDUSTRIAL BRAUNS 511-5333303 FAX: 1  
 -11-1998 10:14PM FROM FILTERS 205 257 9/20



**Fax Cover Sheet**



DATE: February 12, 1998 TIME: 10:11 AM

TO: Jorge Cuadros Blas PHONE: Industrial Brauns FAX: 9011-511-533-3303

FROM: Andy Hambek PHONE: 308/233-9240 Baldwin Filters FAX: 308/237-9726

RE: Your 4-Feb-98 Fax

CC: Scott Kralik Farrell Calcaterra

Number of pages including cover sheet: 1

**Message**

The table below shows performance information we have on the 300 series fuel filter elements. This is not exactly the same format as the BF799-D material sent earlier, but trust that it will supply the necessary information.

Filter Part Number	Media Area, in <sup>2</sup>	Micron Rating (nominal)	Capacity, grams (estimate)
301	2,280	2	55
301-W	2,280	10	75
301-30	2,280	30	125

We find that we must report that Baldwin Filters does not have a portable particle counter in our product line. Our Laboratory has tested some portable particle counters. Their experience has been that the portable counters are not nearly as reliable or accurate as the stationary models. However, they did report that of the portable counters they tested, the Parker brand seemed to be quite a bit better than some others.

We trust that this information will be helpful. If we can provide any additional assistance, please let us know.

*Andy Hambek*  
 Senior Service Engineer



4400 East Highway 30  
 P.O. Box 6010  
 Kearney, NE 68848-6010  
 Ph 800-822-5394  
 FAX 800-828-4453  
 Internet <http://www.baldwinfilter.com>



## ANEXO VI

### SELECCION DE FILTRO PARA EL GRIFO - TOQUEPALA



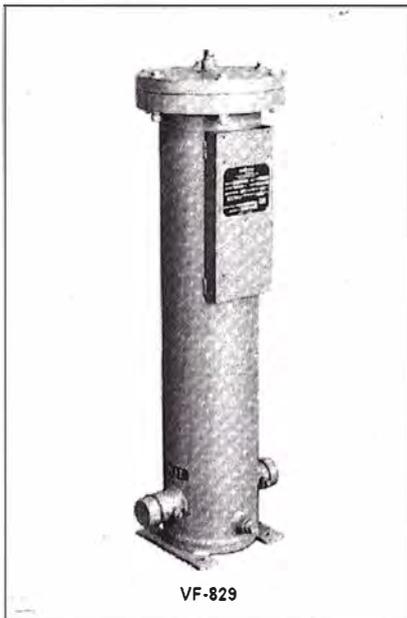
## **VF Series Fluid Filters**

#### STANDARD DESIGN FEATURES

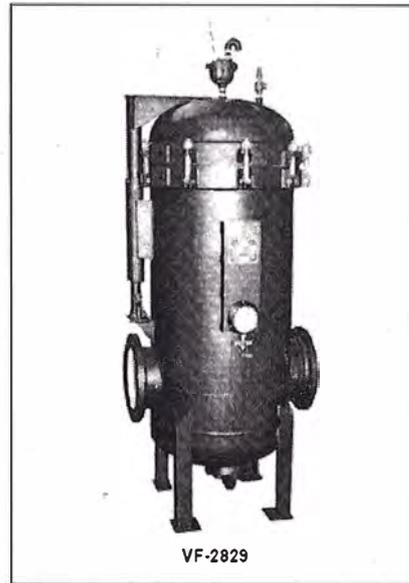
- 150 psi welded steel ASME Code construction.
- Choice of filter efficiency from 0.5 to 75 microns.
- Choice of pleated or depth type media.
- Epoxy coated interior, primed exterior.
- Buna-N O-ring cover seals.

#### RECOMMENDED OPTIONAL ACCESSORIES

- Automatic Air Eliminator
- Pressure Relief Valve
- Differential Pressure Gauge
- Drain Valve(s)
- Sampling Probes
- ASME Code Stamp



VF-829



VF-2829

VF-1614 and larger vessels are provided with swing bolt closure. RF flange connections and fittings for pressure gauge, air eliminator, pressure relief valve and drain valve.

VF-814-844 Filters have through bolt closures, NPT connections, and include fittings for drain, pressure gauge and air vent.

#### TYPICAL APPLICATIONS

Jet Fuels Diesel Fuels Gasoline

Consult our cartridge data sheets to select the efficiency and type of cartridge that is right for your application – PLF Series (pleated surface type filtration), FG Series (fiberglass depth type filtration), or **Aquacon**® Series (dehydration and filtration).

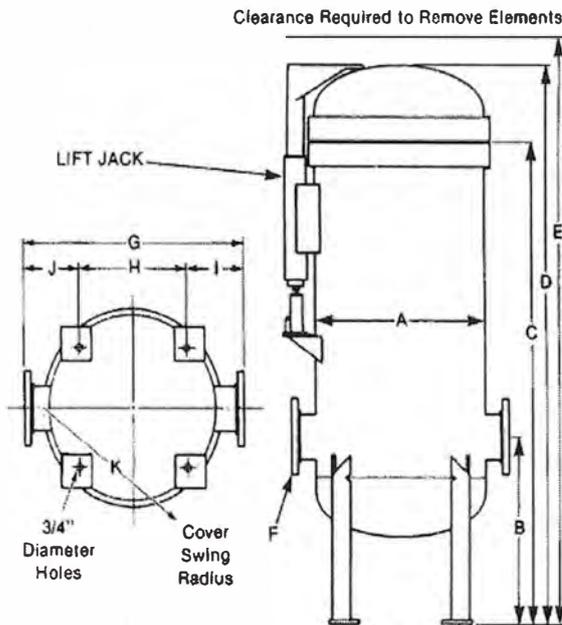


Figure 1

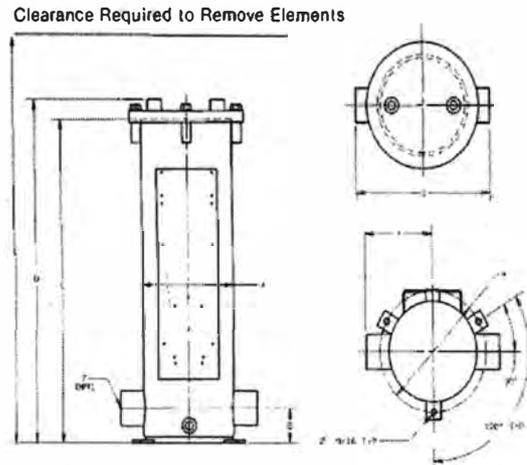


Figure 2

Vessel Model Number	Rated Flow USGPM <sup>1</sup>	614 Series <sup>2</sup> Elements		Fig. No.	Dimensions in Inches <sup>4</sup>											Weight with Skid, lbs.	Volume U.S. Gallons
		Total Qty.	No. of Stacks		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
VF-814	50	1	1	2	8 $\frac{1}{2}$	3	27 $\frac{1}{4}$	29 $\frac{1}{4}$	43	2	13	10 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	-	-	225	5
VF-829	100	2	1	2	8 $\frac{1}{2}$	3	41 $\frac{1}{4}$	43 $\frac{1}{2}$	58	2	13	10 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	-	-	265	8
VF-844	150	3	1	2	8 $\frac{1}{2}$	3	55 $\frac{1}{4}$	57 $\frac{1}{2}$	72	2	13	10 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	-	-	305	11
VF-1614	200	4	4	1 <sup>4</sup>	16	15	37 $\frac{1}{4}$	40 $\frac{1}{4}$	67	4	24 $\frac{1}{4}$	9	7 $\frac{1}{2}$	-	-	500	22
VF-1629	400	8	4	1 <sup>4</sup>	16	15	52 $\frac{1}{4}$	55 $\frac{1}{4}$	82	4	24 $\frac{1}{4}$	9	7 $\frac{1}{2}$	-	-	560	35
VF-2029	600	12	6	1 <sup>4</sup>	20	19 $\frac{1}{4}$	56 $\frac{1}{4}$	62	86	6	28	13	7 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	26	1000	67
VF-2044	900	18	6	1 <sup>4</sup>	20	19 $\frac{1}{4}$	71	76 $\frac{1}{4}$	113	6	26	13	7 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	26	1100	88
VF-2829	1200	24	12	1	28	24	48 $\frac{1}{2}$	64 $\frac{1}{4}$	73	8	36	18	9	9	35	1500	125
VF-2844	1800	36	12	1	28	24	63 $\frac{1}{2}$	79 $\frac{1}{4}$	87 $\frac{1}{4}$	8	36	18	9	9	35	1600	165
VF-3644	2700	54	18	1	36	26	63 $\frac{1}{4}$	77	107	10	48	23	12 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$	43	2250	288
VF-4244	4050	81	27	1	42	28	66	86 $\frac{1}{4}$	112	12	54	28	13	13	50	3600	400

- Flow rate is based on FO-614PLF5 (5-micron pleated paper) elements for fluids with a viscosity of up to a maximum of 120 SSU and a clean pressure drop of 2 psi maximum. For other elements and/or higher viscosities, consult our element data sheets or your Velcon Representative.
- VF Series Filters are designed to accommodate our standard 6 in. O.D., 3 $\frac{1}{2}$  in. I.D., 14 $\frac{1}{4}$  in. long elements that are stacked one, two, or three high. Many elements are available in longer lengths that eliminate stacking. For example, a 44 inch long FO-644PLF1M could be used in place of three 14 $\frac{1}{4}$  inch long elements. This makes for easier and less expensive changeouts.
- A number of threaded base filter elements (e.g. FO-644PLF5TB) are available, which allow for easier element changeout and removal of particulate matter from the deckplates. See data sheet # 1549. The threaded base elements mount on the 6000T Adapters.
- Dimensions shown are for estimating purposes only. For exact dimensions, obtain certified drawing.
- VF-16 and VF-20 Series vessels have flat covers. VF-16 Series vessels do not have hydraulic lift jacks.
- Available *Aquacon* Cartridges are the ACO-61401K, ACO-62901K and ACO-64401K.

**Velcon** Velcon products are sold and serviced by a world-wide representative network. To order, contact Headquarters or your LOCAL REPRESENTATIVE:

COMPANY HEADQUARTERS:  
 Velcon Filters, Inc. 4525 Centennial Blvd.  
 Colorado Springs, CO 80919-3350  
 Phone: 1.800.531.0180  
 Fax: 719.531.5690  
 e-mail: vfsales@velcon.com  
 www.velcon.com

MANUFACTURING PLANTS LOCATED AT:  
 Colorado Springs, Colorado  
 Spacanga, Alabama  
 Harlingen, Texas

OVERSEAS AFFILIATES:  
 Frankfurt, M., W. Germany & Singapore

**Liquid Filtration  
 and Separation  
 Specialists**

Due to Velcon Filters' continuing product improvement, drawings, specifications and pictures are subject to change without notice.

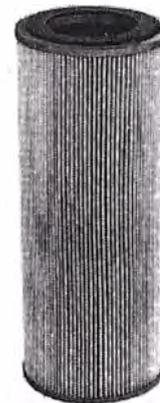


# Pleated Media FO-6xxA3 Series API/IP-1590 Qualified

## 3 Micron Rated Pleated Paper Cartridges for Aviation Fuels

Velcon has qualified the FO-6xxA3 pleated media filter cartridges to API/IP Specification 1590, "Specifications and Qualification Procedures for Aviation Fuel Microfilters."

- **Large Surface Area** – Allows high flow rate with low initial pressure drop and maximum contaminant holding capacity.
- **Resin Impregnated Media** – Maintains strength, resists effects of water and heat.
- **75 psi Collapse Strength** – Heavy gauge carbon steel endcaps and center tube give safety margin against pressure surges.
- **Coated Steel Components** – Resist corrosion from most industrial fluids.
- **Corrugated Media** – Prevents pleat pinch-off, assuring all filtration media is utilized.
- **Buna-N Gaskets** – The best general gasket material available assures positive seal in most fluids.
- **Epoxy Bonding Material** – Endcaps epoxy-bonded to media to prevent internal bypassing.



FO-614A3



FO-656A3

### SPECIFICATIONS

75 psi Collapse strength

5 - 9 Operating pH range

3 micron efficiency (per 1590)

275°F Maximum operating temperature

### CARTRIDGE INFORMATION

MODEL NO.	DIMENSIONS	PERFORATED OUTER WRAP
FO-614A3	6" x 14½" x 3½" ID	NO
FO-629A3	6" x 29" x 3½" ID	YES
FO-644A3	6" x 44" x 3½" ID	YES
FO-656A3	6" x 56" x 3½" ID	YES



Velcon products are sold and serviced by a world-wide representative network. To order, contact Headquarters or your LOCAL REPRESENTATIVE.

#### COMPANY HEADQUARTERS:

Velcon Filters, Inc. 4525 Centennial Blvd.  
Colorado Springs, CO 80919-3350  
Phone: 1.800.531.0180  
Fax: 719.531.5690  
e-mail: vfsales@velcon.com  
www.velcon.com

#### MANUFACTURING PLANTS LOCATED AT:

Colorado Springs, Colorado  
Sylacauga, Alabama  
Harrington, Texas

#### OVERSEAS AFFILIATES:

Frankfurt, M., W. Germany & Singapore

*Liquid Filtration  
and Separation  
Specialists*

Due to Velcon Filters' continuing product improvement, drawings, specifications and pictures are subject to change without notice.