

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**“ESTUDIO TÉCNICO PARA EL CAMBIO DE ACEITE MINERAL POR
ACEITE SINTÉTICO A LOS MOTORES DE LOS CAMIONES 793C EN
LA INDUSTRIA MINERA”**

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUÍMICO
POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:
LOURDES PATRICIA FLORES ANDRADE

LIMA – PERÚ

2010

DEDICATORIA

Dedico la elaboración del Informe de Suficiencia, el cual me da el grado académico de Ingeniero Químico, a Dios por haberme dado a mis amados y adorados padres Raúl Flores Guio y María Andrade de Flores, los cuales me criaron y educaron con todo su amor y ternura, por enseñarme siempre a ser una persona de bien y darme todo su apoyo de manera incondicional.

A mis hermanos que siempre están dispuestos a ayudarme y su perseverancia me dio ánimo para concretar mis sueños.

A mis amigos que son parte fundamental en mi vida, su apoyo y ayuda significa mucho para mí.

RESUMEN

El presente trabajo presentará los beneficios económicos que puede implicar los cambios de un aceite mineral por un sintético y los beneficios en la disposición de los residuos. El caso en estudio se desarrollará en la Minera Antamina ubicada en la zona sierra norte del país.

Esta minera cuenta con una flota de camiones Caterpillar 793C, cuya disponibilidad es primordial para poder abastecer la gran cantidad de demanda de mineral que debe transportarse para su procesamiento, la cual se ve afectada por la cantidad de paradas no programadas, el tiempo que toma realizarlas y el cambio anticipado del motor de los equipos, es por ello que se vio en la necesidad de realizar un estudio del cambio de los aceites lubricantes en uso, cuyos componentes de motor han sido lubricados con aceite mineral. Si bien es cierto estos aceites han permitido enfrentar los problemas de desgaste e incremento de viscosidad ante mayores niveles de hollín en el aceite con el uso continuo, requiere afrontar nuevos retos que le permita un recambio de aceite más prologando pero cuidando el componente de motor, aumentando la disponibilidad de los equipos y considerando un punto muy importante que hoy en día toda empresa debe enfocar como es la parte medioambiental. Por lo que se evalúa el cambio de estos aceites por el de un aceite totalmente sintético.

Esta evaluación se realiza para demostrar el beneficio de este aceite en los componentes de motor mediante un monitoreo adecuado y así ayudar a prolongar su vida útil, al tiempo que permite alargar los intervalos de recambio del aceite, reduciendo costos, ahorrando aceite y por ende disminuir los residuos que genera, facilitando su disposición final.

ÍNDICE

	pág.
I. INTRODUCCIÓN	7
II. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS.	9
2.1. LUBRICANTES EN LA INDUSTRIA MINERA	9
2.1.1. Situación actual de la industria minera.	9
2.1.2. Problemática de la lubricación en la industria minera.	9
2.1.3. Costos comparativos de los diversos lubricantes.	9
2.2. ACEITES LUBRICANTES	11
2.2.1. Definición de Lubricantes.	11
2.2.2. Bases Lubricantes.	11
2.2.3. Funciones de los aceites lubricantes.	14
2.2.4. Características Químicas y Físicas de los Aceites Lubricantes.	15
2.2.5. Aditivos.	24
2.2.6. Tipos de lubricantes.	30
2.2.6.1. Aceites Lubricantes Minerales.	30
2.2.6.2. Aceites Lubricantes Sintéticos.	31
2.2.7. Comparación de un lubricante mineral y un lubricante sintético.	33
2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO	33
2.3.1. Mantenimiento reactivo.	33
2.3.2. Mantenimiento preventivo.	34
2.3.3. Mantenimiento predictivo.	34
2.3.4. Mantenimiento proactivo.	34

2.3.5. Importancia y beneficios del Mantenimiento Predictivo en la Industria Minera.	35
III. DESARROLLO DEL TEMA	39
3.1. ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO POR USO DE ACEITES LUBRICANTES	39
3.1.1. Pruebas que se realizar a los aceites lubricantes.	39
3.1.2. Pruebas de análisis de aceite más comunes y los beneficios relacionados con sus tres categorías.	40
3.1.3. Monitoreo de los aceites lubricantes usados y la interpretación de los resultados.	48
3.2. BENEFICIOS DEL CAMBIO DE ACEITE MINERAL POR EL ACEITE SINTÉTICO	51
3.2.1. Beneficio Económico.	51
3.2.2. Beneficio en la disposición final de los residuos.	52
IV. ESTUDIO DEL CASO DE MOTORES DE LOS CAMIONES CATERPILLAR 793C	53
4.1. DISMINUCIÓN DE CAMBIOS DE ACEITE EN LAS PARADAS PROGRAMADAS.	54
4.2. INCREMENTO EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS.	56
4.3. ESTUDIO COSTO/BENEFICIO DEL CONSUMO DE ACEITE SINTÉTICO	56
4.4. BENEFICIO EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS.	59
4.5. MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL CASO PRESENTADO.	61

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1. CONCLUSIONES	64
5.2. RECOMENDACIONES	65
VI. BIBLIOGRAFÍA	67
VII. ANEXOS	
▪ Anexo 01: Monitoreo del motor HTENG024-5, utilizando aceite MX correspondiente al 2009).	
▪ Anexo 02: Límites de Desgaste para el aceite Delvac MX.	
▪ Anexo 03: Monitoreo del motor a prueba utilizando aceite sintético.	
▪ Anexo 04: Límites de Desgastes para el aceite Delvac 5W-40.	
▪ Anexo 05: Gráficas de metales de Desgaste, Oxidación, Viscosidad del componente de motor HTENG024-5, utilizando aceite MX y aceite Delvac 5W-40.	

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la lubricación es de vital importancia y es conocida como elemento fundamental en la conservación de la maquinaria, está presente en todos los programas de mantenimiento de industrias y empresas de transporte y tal como se viene realizando desde años atrás, el mantenimiento ha cambiado desde las últimas décadas del siglo pasado. Todos los sistemas y formas de trabajar han sido revaluados con base en nuevas técnicas y herramientas disponibles en el mercado para realizar la labor en forma eficiente, económica y rápida.

El lubricante siempre va estar relacionado con el mantenimiento debido al papel que juega dentro del funcionamiento de cualquier equipo y aquí cabe resaltar la invaluable ayuda que presta el aceite lubricante para determinar el estado del equipo y primordialmente su desempeño a través del tiempo, permitiendo tomar decisiones oportunas, siempre y cuando el trabajo de seguimiento sea un proceso efectivo y confiable que dependerá del tipo de mantenimiento que se realice.

Pero que sucede si este lubricante no cumple con los requerimientos que un equipo necesita, sobre todo en equipos de gran envergadura, en las que una disminución en la disponibilidad podría significar en miles de soles en pérdidas como es el caso de la industria minera. De ahí parte la necesidad de buscar nuevas tecnologías, como es el caso de reemplazar el aceite mineral por un aceite completamente sintético. Este estudio fue realizado en la minera Antamina en el año 2009.

En otras mineras del Perú todavía no han apostado por estos cambios, atribuyendo primordialmente al tema de costos, pero que en el mediano plazo los resultados son mas que favorables. Compañías de países vecinos tal como Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A., han implementado esta nueva

tecnología obteniendo como beneficio principal el aumento de la disponibilidad de sus equipos.

Es por ello que un lubricante correcto como es el de un lubricante sintético puede extender considerablemente la vida útil de los equipos, mejorando el rendimiento de las máquinas y reduciendo la necesidad de reparaciones costosas con herramientas adecuadas de un mantenimiento predictivo o el proactivo que permita una aplicación correcta y oportuna en el monitoreo del lubricante, sus condiciones de operación, desempeño, degradación y grado de protección del equipo. Esto se complementa con la adecuación de los parámetros correspondientes y el establecimiento de los diversos límites de operación, desempeño y duración del producto.

Con lo descrito el propósito del presente informe es evaluar los beneficios que genera el cambio de un aceite lubricante mineral por un aceite sintético en los motores Caterpillar 793C mediante un programa adecuado de Mantenimiento Predictivo en la minera Antamina.

II. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS.

2.1. LUBRICANTES EN LA INDUSTRIA MINERA

2.1.1. Situación actual de la industria minera.

La minería peruana actualmente se encuentra en una situación de expansión, se desarrolla en todo el país y es un importante dinamizador de la economía peruana, agrupando una cultura empresarial moderna que respeta las normas vigentes; que es social y ambientalmente responsable; y genera y mantiene un diálogo constante con los agentes de su entorno.

En la actualidad el Perú es el primer productor de plata; el tercero en la producción de estaño, cobre y zinc; cuarto en plomo y quinto en oro. A nivel Latinoamericano, es el primer productor en casi todos los metales, exceptuando el cobre ⁽¹⁾.

2.1.2. Problemática de la lubricación en la industria minera

La lubricación tiene mercados finales en diversas industrias y en términos de consumo el sector de la minería es el mas grande de todos los sectores.

La minería no ha detenido en términos generales sus planes de largo plazo. Por ende, los niveles de consumo de lubricantes son bastante considerables, permitiendo mejorar la limpieza de los fluidos hidráulicos, mejorando la filtración, implementando cambios de aceite, prediciendo signos temprano de desgaste. El uso de combustibles y lubricantes apropiados son factores esenciales para metas deseadas de un trabajo óptimo realizado al menor costo posible.

2.1.3. Costos comparativos de los diversos lubricantes

En los últimos años se ha visto un crecimiento en la preferencia por los

lubricantes sintéticos (con utilización de bases sintéticas) debido a su mayor robustez en algunas propiedades. Sin embargo, la tasa de crecimiento de la utilización de lubricantes sintéticos aún es moderada debido a que sus costos y precios son actualmente significativamente más elevados (por impacto de los costos de las materias primas, que son entre 3 y 14 veces más caras) que los de los lubricantes minerales.

Por ejemplo, la incorporación de bases sintéticas se reduce al 7% en lubricantes para motores, al 5% en fluidos hidráulicos y al 2% en los lubricantes para engranajes, aunque en estos segmentos haya una clara tendencia hacia un ligero aumento de estos porcentajes ⁽¹⁾.

En los siguientes cuadros se muestran los costos aproximados de los aceites lubricantes utilizados en la minera Antamina:

Tabla 2.1.- Precios de los aceites de motor

ACEITE DE MOTOR	COSTO US\$/CILINDRO
MINERAL	400
SINTETICO	1200

Tabla 2.2.- Precios de los aceites industriales minerales

ACEITE INDUSTRIAL MINERAL	COSTO US\$/CILINDRO
ATF220	500
ALMO	500
LINEA MOBILGEAR	500
LINEA DTE	420

Tabla 2.3.- Precios de los Aceites Industriales Sintéticos

ACEITE INDUSTRIAL SINTÉTICO	COSTO US\$/CILINDRO
MOBIL XMP 320	2800
LINEA SHC	1800

2.2. ACEITES LUBRICANTES

2.2.1. Definición de Aceites Lubricantes

El término aceite lubricante, es generalmente usado para incluir toda clase de materiales lubricantes aplicados como fluidos. Estos pueden ser de origen animal, vegetal o sintético. Cualquiera sea su origen inicial, tienen dos grandes componentes: las bases lubricantes y los aditivos, los cuales adecuadamente combinados brindan las características propias de cada aceite lubricante.

Se llama lubricante a toda sustancia sólida, semisólida o líquida, de origen animal, mineral o sintético que, puesto entre dos piezas con movimiento entre ellas, reduce el rozamiento y facilita el movimiento.

2.2.2. Bases lubricantes

Estas determinan las propiedades del lubricante, tales como viscosidad, color, etc., Dependiendo del uso final del aceite, éste puede componerse entre un 70% a 98% de base lubricante. La gran mayoría de aceites hoy en día no se componen de una sola base lubricante, sino que, por el contrario combinan varios (por lo general dos) para obtener las mejores cualidades posibles para el uso final que vaya a tener el lubricante.

El origen de la base es el que determina la clasificación de origen del aceite lubricante. Así, si la base es de tipo animal, así mismo, el aceite

será clasificado como de tipo animal. Las bases animales y vegetales se denominan bases orgánicas y por ende los aceites se denominan orgánicos. Se descomponen con facilidad en presencia del calor. En presencia de frío se oxidan. Las bases más usadas hoy en día son las minerales, extraídas del petróleo, constituidas por una estructura de moléculas complejas. En muchas oportunidades se designan como aceites minerales aquellos aceites que no tienen aditivos.

Aunque las bases vegetales y animales se usan en algunos productos, son las bases lubricantes minerales y sintéticas las que más se encuentran en el mercado por su mayor disponibilidad y características inherentes.

En las bases lubricantes minerales se encuentra gran cantidad de clases y diferencias pero todas ellas se agrupan en tres tipos de bases con propiedades específicas:

➤ **Parafinicas**

Son bases saturadas con cadenas de hidrocarburos en línea recta o ramificada. Los crudos con este tipo de formación producen gasolinas de bajo octanaje, pero, excelentes kerosenos, aceites combustibles y bases lubricantes ⁽²⁾.

Características:

Resistencia a la oxidación

Alto punto de inflamación

Alto índice de viscosidad

Baja volatilidad

Baja densidad

Alto punto de fluidez

Formación de carbones duros

Bajo poder disolvente

➤ **Nafténicas**

Estas bases se caracterizan por sus formaciones con configuración de anillos o saturaciones cíclicas o policíclicas. Las bases lubricantes de este tipo son en general de menor calidad que las parafínicas, aunque a través de procesos especiales de refinación se pueden lograr bases de gran calidad pero características diferentes a las parafínicas ⁽²⁾.

Características:

Poca formación de carbones

Bajo punto de fluidez

Buena rigidez eléctrica

Bajo punto de inflamación

Bajo índice de viscosidad

Alta volatilidad

Gran poder disolvente

Densidad media a alta

➤ **Aromáticas**

Las bases aromáticas son cadenas no saturadas. Presentan cadenas laterales igualmente no saturadas. Esta configuración las hace químicamente activas y tienen tendencia a la oxidación generando ácidos orgánicos ⁽²⁾.

Características:

Altísima densidad

Bajo punto de inflamación

Inestabilidad química

Bajo índice de viscosidad

Tendencia a la oxidación

Emulsionables

2.2.3. Funciones de los Aceites Lubricantes

Los lubricantes aparecen de diferentes maneras, en forma de fluido, grasa o sólida, dependiendo de los requerimientos de la aplicación. Los lubricantes pueden proporcionar algunos o todos los siguientes beneficios:

- **Reducción de fricción y desgaste:** Los lubricantes reducen la fricción por medio de la separación de las superficies en movimiento con una película de fluido que transporta la carga. La fricción genera calor y origina degradación de la superficie en forma de desgaste.

Tanto el calor como el desgaste reducen la vida útil de los componentes mecánicos y del lubricante mismo. El grado al cual se separan los componentes depende de los diversos factores, que incluyen carga, velocidad y viscosidad.

Generalmente, en contactos deslizantes, la película lubricante proporciona de 2 a 20 micrones de separación entre los componentes. En donde no se logra alcanzar la película fluida de separación, los lubricantes sólidos o productos químicos reducen la fricción límite en la superficie de contacto de los componentes ⁽³⁾.

- **Control de temperatura:** Los lubricantes fluidos absorben el calor en el punto en que este se genera de tal forma que pueda disiparse naturalmente, o ser removido por un intercambiador de calor u otro sistema de enfriamiento.
- **Control de contaminación:** Los lubricantes sirven para aislar los componentes de las máquinas del medio ambiente, deteniendo o haciendo más lento el ingreso de contaminantes como partículas, agua y químicos. De igual manera, los lubricantes fluidos recogen los contaminantes y los transportan al tanque o depósito, en donde pueden asentarse por gravedad o los conducen a un filtro o separador en donde son removidos.
- **Prevenir ataque químico:** Al formar una capa protectora sobre la superficie de los componentes, los lubricantes proporcionan protección contra la herrumbre y la corrosión.
- **Transmitir energía:** En sistemas hidráulicos, el fluido es el medio por el cual la energía se transmite para hacer actuar los cilindros, válvulas, motores, etc.

2.2.4. Características Físicas y Químicas de los Aceites Lubricantes

Las características químicas y físicas son de gran valor para permitir uniformidad de los diferentes productos durante su elaboración. También son útiles para determinar los aceites adecuados para la aplicación de acuerdo con las especificaciones de los OEMs. Así mismo, se usan en los análisis de aceites usados para identificar variaciones en sus características y sus posibles causas.

Características físicas

Son aquellas que se miden por procesos físicos.

a) Densidad y gravedad

La densidad de una sustancia es la masa de una unidad de volumen a una temperatura determinada.

Gravedad específica (densidad relativa) es la relación entre la masa de un volumen de un material a una temperatura designada y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

Gravedad API es una función inversa de la gravedad específica y se utiliza primordialmente para derivados del petróleo. En esta escala arbitraria, seleccionada por la API, la gravedad específica del agua se toma como 10.

$$\text{Gravedad API} = \frac{141.5}{\text{Gravedad específica } 60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}} - 131.5$$

La gravedad API no implica medida alguna de calidad.

b) Punto de inflamación

Es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende suficientes vapores que se encienden instantáneamente al aplicárseles una llama abierta. La producción de vapores a esta temperatura no es suficiente para mantener una combustión sostenida.

No obstante, si el aceite sigue siendo calentado alcanzará una temperatura a la cual desprenderá suficientes vapores para mantener la combustión. Esta temperatura se conoce como **punto de llama**. Se debe recordar que los vapores o gases desprendidos de un líquido son los que combustionan y no el líquido en sí.

c) Punto de fluidez

Es la mínima temperatura a la cual un líquido fluye cuando es enfriado bajo condiciones de prueba. El punto de fluidez está determinado por las ceras disueltas en el aceite o por la misma viscosidad del lubricante.

Tanto una agitación mecánica como la rata de enfriamiento pueden alterar el punto de fluidez normal, apareciendo inferior al real. Lubricantes sin tratar muestran una gran variación en puntos de fluidez. Crudos parafínicos y otros mixtos presentan puntos de fluidez en el rango de 27°C a 49°C. Una vez sometidos al proceso de desparafinado este rango se reduce de -7°C a -18°C.

d) Viscosidad

Probablemente, es la propiedad más importante y conocida de un aceite. Se define como la resistencia que presenta cualquier líquido para fluir, resistencia debida a las fuerzas internas de las moléculas a una temperatura y presión determinadas.

La viscosidad tiene una relación directa con la formación de la película lubricante. A mayor viscosidad mayor el espesor de la película.

Viscosidad absoluta o dinámica: Se determina midiendo la fuerza requerida para mover un elemento, contrarrestando la fricción fluida del líquido con una película de dimensiones conocidas. La viscosidad absoluta se mide en Poise (P), centipoises (CP) o en Pascal segundos (Pas; 1Pas 10HP).

Viscosidad cinemática: Es el coeficiente de la viscosidad dinámica de un líquido y su densidad, medidas ambas a la misma temperatura y presión. Se presenta en stokes (St), centistokes (cSt) o en milímetros cuadrados por segundo (mm^2/s ; $1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$). Se define también como el tiempo requerido por una cantidad determinada de aceite para fluir entre dos puntos preseleccionados en un tubo capilar bajo la fuerza de la gravedad.

Clasificación SAE-Transmisiones Manuales y Diferenciales. Al igual que para el caso de motores la SAE ha definido una clasificación arbitraria para las viscosidades de aceites lubricantes aplicados en transmisiones manuales y diferenciales. La temperatura de referencia continúa siendo 100°C .

Tabla 2.4.- Clasificación de viscosidades SAE J306 para aceites de transmisiones automotrices

Grado SAE	Temp. Máx. para Viscosidades de 150000 cP ($^\circ\text{C}$)	Viscosidad cinemática cSt @ 100°C	
		Mínimo	Máximo
70W	-55	3,8	—
75W	-40	4,1	—
80W	-26	7,0	—
85W	-12	11,0	—
80	—	7,0	<11,0
85	—	11,0	<13,5
90	—	13,5	<24,0
140	—	24,0	<41,0
250	—	41,0	—

Clasificación SAE-motor. La sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE siglas en inglés) ha definido la clasificación de viscosidades para aceites lubricantes para motores de combustión interna. Se ha tomado como temperatura referencia 100°C porque es una temperatura promedio de operación de los componentes mecánicos del automotor que requieren aceite lubricante ⁽²⁾. La “w” como sufijo en algunos grados indica que dicho aceite es útil a bajas temperaturas, como en invierno (winter en inglés).

Tabla 2.5.- Clasificación de viscosidades SAE 5300 para aceites de motor

Grado SAE	Viscosidad de arranque cP Máx. °C	Temperatura máxima de bombeo a 60000 cP	Viscosidad cinemática cSt @ 100°C	
			Min.	Máx.
0W	3250 a -30	-40	3,8	—
5W	3500 a -25	-35	3,8	—
10W	3500 a -20	-30	4,1	—
15W	3500 a -15	-25	5,6	—
20W	4500 a -10	-20	5,6	—
25W	6000 a -5	-15	9,3	—
20	—	—	5,6	<9,3
30	—	—	9,3	<12,5
40	—	—	12,5	<16,3
50	—	—	16,3	<21,9
60	—	—	21,9	<26,1

Clasificación ISO. Para aceites lubricantes de uso industrial se ha adoptado la clasificación inicialmente desarrollada por la Sociedad

Americana de Pruebas y Medidas- sigla en inglés (ASTM) y la sociedad americana de Ingenieros de Lubricación – siglas en inglés ASLE ⁽²⁾. En un comienzo el sistema se basó en las viscosidades medidas a 100°F, pero por razones de estandarización se trasladó a 40°C.

Tabla 2.6.- Clasificación de viscosidades ISO para aceites industriales

Grado ISO	Viscosidad Media cSt @ 40°C	Viscosidad cinemática cSt @ 40°C	
		Mínimo	Máximo
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

Índice de viscosidad

El índice de viscosidad (IV) define la relación entre la temperatura y la viscosidad. Aceites diferentes tienen tasas diferentes de cambio de viscosidad con la temperatura.

$$IV = 100 X (\text{Visc. } 0 - \text{Visc. } X) / (\text{Visc. } 0 - \text{Visc. } 100)$$

Donde Visc. 0, Visc. 100 y Visc. X, corresponden a las viscosidades a 100°F de los aceites con IV cero, IV cien y el aceite del cual se desea hallar el IV, respectivamente.

Un alto índice de viscosidad indica una tasa relativamente baja de cambio. Un índice de viscosidad bajo indica por el contrario, una alta tasa de cambio.

Desde el punto de vista de los aceites monogrados y multigrados se puede decir que los primeros tienen un I.V. menor que los segundos.

En aplicaciones donde la temperatura de operación permanece más o menos constante el índice de viscosidad es de poca importancia. Sin embargo, en aplicaciones donde la temperatura de operación varía sobre un amplio rango, como en los motores de combustión interna, esta propiedad adquiere una importancia fundamental.

e) Color

El color de un aceite lubricante varía desde prácticamente claro o transparente hasta opaco o negro. Usualmente los métodos utilizados para medir el color están basados en una comparación visual de la cantidad de luz transmitida a través de un volumen específico de aceite con la cantidad de luz transmitida a través de unos patrones de vidrio.

Las variaciones de color en los aceites lubricantes resultan de la diferencia en crudos, viscosidad, método o grado de refinación y de la cantidad y naturaleza de los aditivos utilizados.

El color como propiedad sólo tiene importancia como punto de referencia del aceite utilizado ya que por sí mismo no indica calidad. Sólo en casos de aceites blancos resalta la importancia de esta característica.

Características químicas

Son aquellas que requieren de procesos químicos para conocer sus valores. Aunque son muchas, las siguientes son las más importantes:

a) Número de neutralización

En un aceite, su grado de acidez o alcalinidad puede venir expresado por su número de neutralización. Este se puede definir como la cantidad de álcali o ácido que se requiere para neutralizar la acidez o basicidad de un gramo de aceite muestra. La cantidad de álcali o ácido se expresa en miligramos de hidróxido potásico (KOH). La gran mayoría de los aditivos utilizados hoy en día en los aceites lubricantes transforman un aceite en ácido o básico, dependiendo de su composición. En otros casos, los aditivos pueden contener ácidos y componentes básicos débiles que no reaccionan entre ellos en el aceite, pero que efectivamente lo hacen en el laboratorio con ácidos y bases fuertes. En ambos casos los efectos de los aditivos tienden a modificar la lectura real de acidez o basicidad que se generará en un aceite. El número de neutralización se suele presentar como TAN y TBN.

Número total ácido o TAN (por sus siglas en inglés) es la medida de acidez del aceite. Es especialmente útil en aceites lubricantes con servicio extendido para evaluar el proceso de oxidación del fluido. Un aceite se oxida en servicio a causa de la exposición a altas temperaturas. Algunos subproductos de esta oxidación son ácidos orgánicos que tienden a incrementar la acidez del aceite.

Número total básico o TBN (por sus siglas en inglés) es la medida de la alcalinidad del aceite lubricante. Los aditivos utilizados en aceites de motor, contienen componentes alcalinos con el fin de neutralizar los productos ácidos de la combustión, especialmente en motores diesel con combustibles medianos y pesados. La tasa de consumo de tales componentes alcalinos es una indicación del estado del aceite y su vida útil.

b) Cenizas sulfatadas.

Son los residuos, en porcentaje de peso, que permanece una vez quemada la muestra de aceite. El residuo inicial es tratado con ácido sulfúrico y nuevamente se quema el residuo tratado para luego pesarlo. Esta es una medida de los componentes no combustibles que contienen el aceite. Los aceites minerales puros no contienen materiales que formen cenizas a diferencia de la gran cantidad de los aditivos utilizados en el aceite lubricante si contienen componentes metalo-orgánicos los cuales forman residuo en la prueba de cenizas sulfatadas. Cantidades excesivas de algunos aditivos con compuestos metálicos pueden ocasionar problemas, tales como, depósitos en la cámara de combustión y desgaste de anillos.

c) Residuos de carbón

El residuo de carbón de un aceite lubricante es el depósito que queda, en porcentaje de peso, después de la evaporación y pirolisis del producto bajo ciertas condiciones de prueba.

Los aceites provenientes de un mismo crudo tienen en general una relación directa de sus residuos de carbón con su viscosidad, de forma que a mayor viscosidad, mayores serán sus residuos de carbón. A su vez, aceites de determinada viscosidad elaborados con bases nafténicas tendrán menos residuos de carbón que aquellos de similar viscosidad pero formulados con bases parafínicas.

Aceites lubricantes con procesos de refinación más profundos y severos producirán menores residuos de carbón. Por tanto, la cantidad de residuos de carbón indica el grado de refinación del producto.

Obviamente, los aditivos que se incorporan agregan material que aumenta el residuo de carbón. Por ello esta característica se mide para certificar que el lubricante está dentro de los límites impuestos por los fabricantes de los equipos en los cuales el aceite será usado.

2.2.5. Aditivos

Los aditivos son químicos que se añaden al aceite básico para alterar una o más de las propiedades de desempeño. En general, se puede decir que los aditivos son usados para:

- Mejorar las propiedades existentes del aceite básico.
- Suprimir propiedades indeseables del aceite básico.

- Impartir nuevas propiedades al aceite básico.

Aditivos más comunes son:

a) Antioxidantes/inhibidores de oxidación

Los aceites lubricantes reaccionan con el oxígeno, especialmente en altas temperaturas, formando hidroperóxidos, radicales libres, acetonas, aldehídos y ácidos orgánicos. La velocidad con la que ocurre este proceso llamado oxidación, depende de los siguientes factores ⁽³⁾:

- Aereación: Afecta la cantidad de oxígeno disponible para reaccionar con las moléculas de aceite
- Temperatura: La tasa de oxidación es aproximadamente el doble cada vez que la temperatura se incrementa en 10°C
- Agua - Provoca hidrólisis y promueve la oxidación
- Catalizadores metálicos - Cobre, plomo, hierro y otros metales químicamente activos promueven la oxidación del aceite.

Las reacciones oxidativas cambian las propiedades químicas y físicas del aceite de las siguientes maneras:

- Incremento de viscosidad
- Incremento de acidez
- Incremento de densidad relativa
- Oscurecimiento
- Barniz en las superficies de los componentes
- Acumulación de lodos

Los aditivos anti-oxidantes/inhibidores de oxidación combaten el proceso de oxidación y prolongan la vida del aceite. Estos aditivos reaccionan con los pro-oxidantes reactivos (radicales libres, peróxidos de hidrógeno, etc.), produciendo sub-productos estables. Los aditivos se sacrifican para proteger al aceite y extender su vida útil (Figura 2.1).

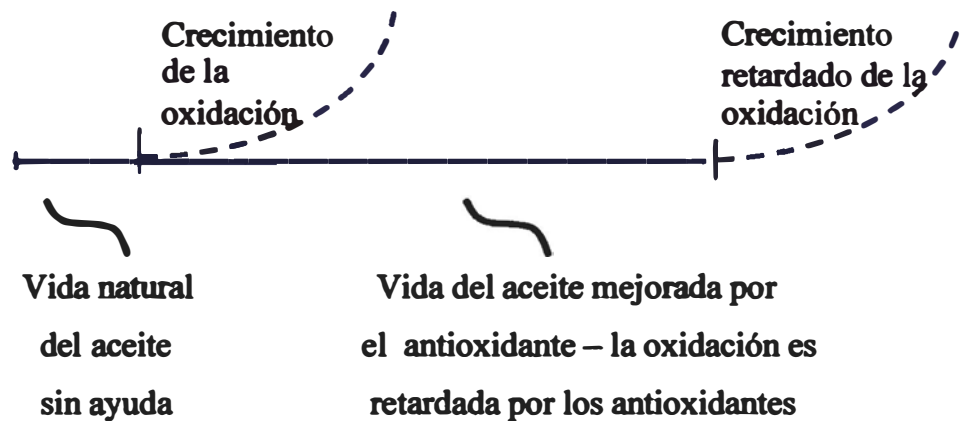


FIGURA 2.1.- El crecimiento de la oxidación, no puede ser evitado, solo retrasado por los antioxidantes.

Antioxidantes/inhibidores de oxidación comunes:

- Fenoles
- Ditiolfosfatos de Zinc (también proporcionan protección anti-desgaste)
- Aminas aromáticas
- Alquil sulfuros

b) Inhibidores de corrosión

El agua afecta adversamente tanto al aceite como a la superficie de la máquina. La herrumbre es resultado de la contaminación por agua y es una forma común de desgaste corrosivo que reduce la vida útil de componentes de hierro y acero de la máquina. Para brindar protección contra la herrumbre, muchos aceites se formulan con aditivos inhibidores de herrumbre.

Los aditivos forman una película de protección que repele al agua de las superficies de hierro o acero. Al separar el agua de la superficie del componente se inhibe el proceso de herrumbre. Los siguientes son aditivos inhibidores de corrosión comunes:

- Sulfonatos
- Fosfatos
- Ácidos orgánicos, succiniamidas, ésteres y aminas.

c) Dispersantes y Detergentes

Los dispersantes son moléculas polares que envuelven el lodo y partículas de hollín para inhibir su aglomeración y evitar que se depositen en la superficie del componente, especialmente en las zonas más frías de los motores (cárter, cubierta de cabezas, etc.).

- Mantienen las partículas pequeñas y finamente divididas, permaneciendo por más tiempo suspendidas efectivamente y no se condensarán fácilmente en la superficie de los componentes (Figura 2.2).

Los detergentes ayudan a mantener limpias las superficies de alta temperatura (pistones, anillos, válvulas, etc.) de depósitos que se forman por sub-productos de la combustión.

Además, proporcionan la basicidad a los aceites de motor para neutralizar los ácidos generados como sub-productos de la combustión y oxidación del aceite (Figura 2.3). Los compuestos comunes de aditivos dispersantes y detergentes incluyen:

- Succiniamidas
- Sulfonatos de bario y calcio
- Fenatos
- Detergentes poliméricos
- Compuestos de aminas

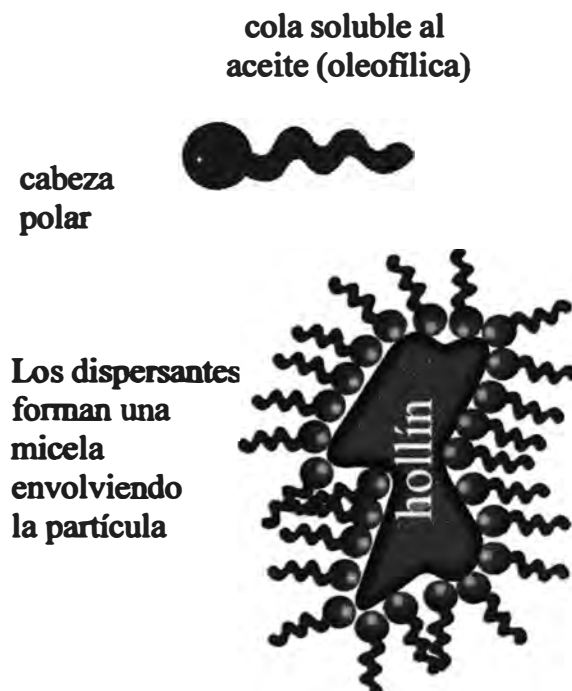


FIGURA 2.2.- DISPERSANTES

(Inhiben la aglomeración del lodo y partículas de hollín)

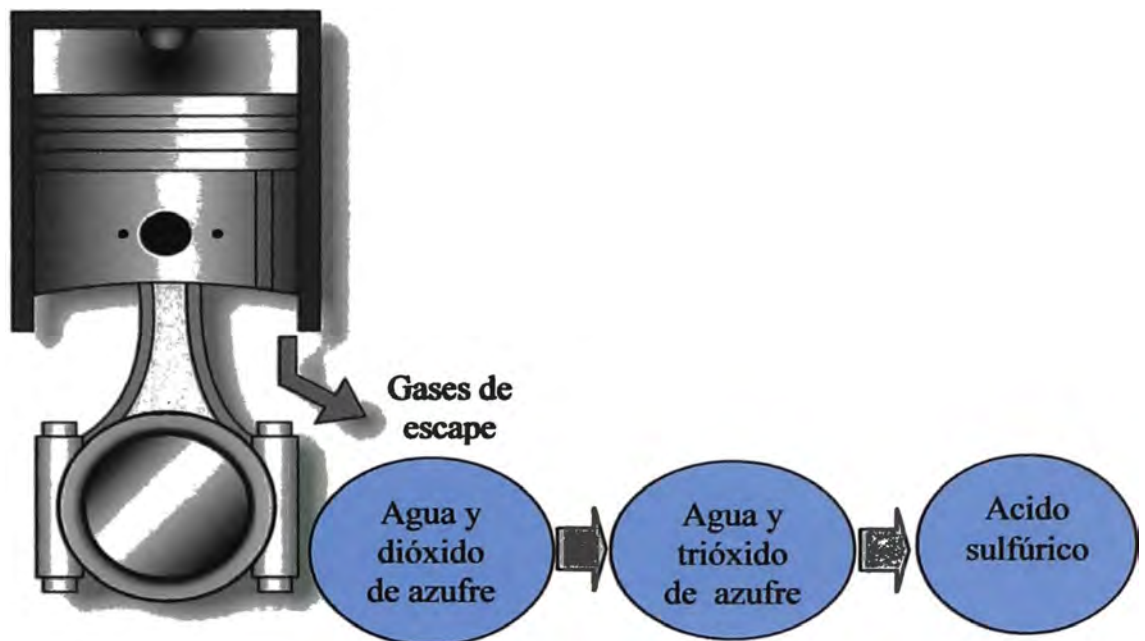


FIGURA 2.3.- DETERGENTES

(Neutraliza los ácidos y controla los depósitos)

d) Aditivos Anti-desgaste y Extrema Presión

Los aditivos anti-desgaste (AD) y extrema presión (EP) protegen a los componentes lubricados bajo las condiciones de lubricación límite previamente descritas. También son conocidos como aditivos anti-rayado.

Bajo condiciones de alta presión, estos aditivos químicamente activos reaccionan con la superficie de los componentes formando una película suave, parecida a un jabón metálico que ofrece mejor lubricidad en contacto límite entre las superficies. Los aditivos AD y EP se diferencian entre sí, en la profundidad a la que ellos reaccionan con la superficie de los componentes.

Es ideal evitar las condiciones de lubricación límite. Cuando esto no puede evitarse, es mejor seleccionar el aditivo más débil (menos

activo químicamente) que pueda cumplir con la tarea de controlar la fricción para evitar una innecesaria degradación de superficie.

Los aditivos más fuertes deberán ser usados solamente cuando sean requeridos. Los aditivos AD y EP más comunes incluyen:

- Dialquil ditiofosfato de Zinc/Ditiofosfato de Zinc (AD)
- Tricresil fosfato (AD)
- Azufre-fósforo (EP)

2.2.6. Tipos de Lubricantes

2.2.6.1 Aceites Lubricantes Minerales

Los aceites minerales proceden del petróleo, y son elaborados del mismo después de múltiples procesos en sus plantas de producción, en las refinarias. El petróleo bruto tiene diferentes componentes que lo hace indicado para distintos tipos de producto final, siendo el más adecuado para obtener aceites el Crudo Parafinico.

La mayoría de los básicos son aceites minerales, lo que significa que son producidos a partir del petróleo crudo utilizando diferentes procesos de refinación. Usualmente, la refinación comienza con la destilación en fracciones donde las moléculas son seleccionadas de acuerdo con su tamaño y tipo al variar la temperatura y la presión (vacío).

Luego, se pueden aplicar otros procesos de refinación, incluyendo:

- Extracción por solventes - El aceite destilado es mezclado con solventes en los que las moléculas aromáticas indeseables se

disuelven, permitiendo su separación de las otras moléculas de aceite.

- **Procesamiento por hidrógeno:**

Hidro-tratamiento moderado: El hidro-tratamiento a baja presión/baja temperatura, remueve azufre, oxígeno y compuestos de nitrógeno, pero no afecta a los aromáticos ⁽³⁾.

Hidrofraccionado severo: El hidro-fraccionado en alta temperatura/alta presión satura las moléculas aromáticas para convertirlas en moléculas nafténicas y parafinicas más estables, y remover los compuestos polares ⁽³⁾

2.2.6.2. Aceite Lubricantes Sintéticos

Los Aceites Sintéticos no tienen su origen directo del Crudo o petróleo, sino que son creados de Sub-productos petrolíferos combinados en procesos de laboratorio. Al ser más larga y compleja su elaboración, resultan más caros que los aceites minerales.

Son de máxima calidad, especialmente diseñado para vehículos con tratamientos de gases de escape y para cumplir los más exigentes requisitos de los motores de vehículos más actuales.

Su estudiada formulación con reducido contenido en cenizas lo hace adecuado para las últimas tecnologías de motores existentes y a la vez contribuye a la conservación del medio ambiente minimizando emisiones nocivas de partículas. Cualidades que lo hacen altamente recomendado para vehículos a gasolina y diesel

con o sin turbocompresores y que incluyan tratamientos de gases de escape.

Fórmula optimizada con aditivos antifricción de alta calidad contribuyendo al ahorro de combustible a la vez que proporciona la protección antidesgaste adecuada para motores de altas prestaciones. Bajo consumo de lubricante por su tecnología sintética y estudiada viscosidad.

Producto de larga duración, que puede prolongar notablemente los intervalos de cambio de aceite sin sacrificar la limpieza del motor. Excelente comportamiento viscosimétrico en frío; facilidad de bombeabilidad del lubricante en el arranque, disminuyendo el tiempo necesario de formación de película y por tanto reduciendo el desgaste.

Su reducido contenido en cenizas, lo hace necesario para la durabilidad de las nuevas tecnologías de disminución de emisiones como filtro de partículas diesel, contribuyendo por tanto en mayor medida a la conservación del medio ambiente que los lubricantes convencionales.

Dentro de los aceites Sintéticos, estos se pueden clasificar en:

- Oligomeros Olefinicos
- Esteres Orgánicos
- Poliglicoles
- Fosfato ésteres

2.2.7. Comparación de los Aceites Lubricantes Minerales y los Aceites Lubricantes Sintéticos

Un porcentaje de lubricantes en servicio son formulados utilizando aceites básicos sintéticos en lugar de aceites básicos refinados del petróleo crudo. Hay muchos tipos diferentes de aceites sintéticos con propiedades variables. A continuación se muestran algunos beneficios potenciales asociados con el uso de aceites de base sintética:

- Mejor resistencia a la oxidación
- Mejor lubricidad
- Resistencia al fuego
- Mejor resistencia térmica
- Intervalos de drenado extendidos.

Estos beneficios deben ser comparados con las posibles limitantes, relacionadas con el uso de lubricantes sintéticos, para determinar la viabilidad de su uso. Los factores que se pueden incluir son:

- Alto costo de compra
- Incompatibilidad con recubrimientos o sellos.

2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.3.1. Mantenimiento Reactivo.

Podemos definir el mantenimiento reactivo como el mantenimiento efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio.

2.3.2. Mantenimiento Preventivo.

El mantenimiento preventivo pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, ejecutando programas de revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se realizaran las acciones necesarias, engrasan, cambian correas, desmontaje, limpieza. Una de las principales desventajas es que si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad ⁽⁴⁾.

Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

2.3.3. Mantenimiento Predictivo.

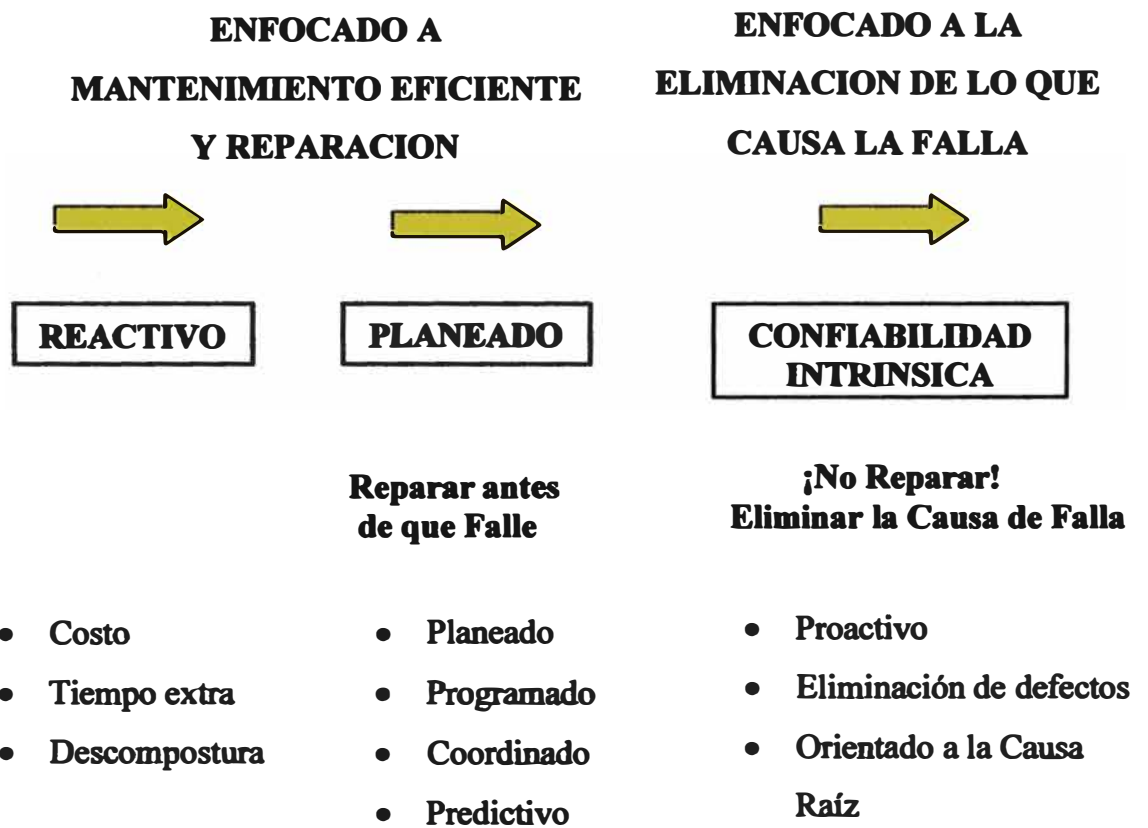
El mantenimiento predictivo es la serie de acciones que se toman y las técnicas que se aplican con el objetivo de detectar fallas y defectos de maquinaria en las etapas incipientes para evitar que estas se manifiesten catastróficamente durante la operación y que ocasionen paros de emergencia y tiempos muertos causando impacto financiero negativo.

2.3.4. Mantenimiento Proactivo

El mantenimiento proactivo es una estrategia de mantenimiento que pretende maximizar la vida útil operativa de las máquinas y sus

componentes, identificando y corrigiendo las causas que originan la falla.

ENFOQUES DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO



2.3.5. Importancia y Beneficios del Mantenimiento Predictivo en la Industria Minera

Hoy en día el mantenimiento en Minería es manejado de manera muy cuidadosa con una estrategia clara a través de un plan altamente estructurado que evite paradas, accidentes, problemas ecológicos como también desviaciones en el presupuesto.

Por ello cuando los beneficios de extensión de vida del mantenimiento proactivo son acompañados por los beneficios de detección temprana del mantenimiento predictivo, se tiene como resultado un comprensivo programa de mantenimiento basado en condición. Mientras que el mantenimiento proactivo se dirige al control de las causas de falla, el mantenimiento predictivo se dirige a la detección de fallas incipientes de las propiedades del fluido y de los componentes de la máquina, como rodamientos y engranes.

Ventajas más importantes del mantenimiento predictivo en la Industria Minera

- 1) Las fallas se detectan en sus etapas iniciales por lo que se cuenta con suficiente tiempo para hacer la planeación y la programación de las acciones correctivas (mantenimiento correctivo) en paros programados y bajo condiciones controladas que minimicen los tiempos muertos y el efecto negativo sobre la producción y que además garanticen una mejor calidad de reparaciones a los componentes de la flota de camiones.
- 2) Las técnicas de detección del mantenimiento predictivo son en su mayor parte técnicas "on-condition" que significa que las inspecciones se pueden realizar con la maquinaria en operación a su velocidad máxima.
- 3) El mantenimiento predictivo permite administrar las fallas antes de que ocurran en operación y no después como lo hace el mantenimiento reactivo.

Técnica de mantenimiento predictivo.

El requisito para que se pueda aplicar una técnica predictiva es que la falla incipiente genere señales o síntomas de su existencia, tales como; alta

temperatura, ultrasonido, vibración, partículas de desgaste, alto amperaje, etc.

Las técnicas para detección de fallas y defectos en maquinaria varían desde la utilización de los sentidos humanos (oído, vista, tacto y olfato), la utilización de datos de control de proceso y de control de calidad, el uso de herramientas estadísticas, hasta las técnicas de moda como; el análisis de vibración, la termografía, la tribología, el análisis de circuitos de motores y el ultrasonido.

Efectividad del mantenimiento predictivo

Para que un programa de mantenimiento predictivo se considere efectivo este debe incrementar la confiabilidad (reliability) y el desempeño operacional de la maquinaria mientras que al mismo tiempo se reducen costos de producción incluyéndose los costos de mantenimiento.

Para diseñar e implementar un programa de mantenimiento predictivo efectivo es necesario determinar en que Equipos, Máquinas o Procesos se justifica la implementación del programa tanto técnica como económicamente.

Para lograr esto se requiere:

- 1) Conocer los diferentes modos de falla y los efectos negativos que estos causan sobre la maquinaria.
- 2) Conocer las ventajas y limitaciones de las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo para así seleccionar la técnica más aplicable y justificable económicamente.
- 3) Contar con un equipo de técnicos altamente competentes en las técnicas de mantenimiento predictivo.
- 4) Cambiar la cultura de mantenimiento reactivo a cultura de mantenimiento proactivo.

Los 10 pasos para la implementación efectiva del mantenimiento predictivo

- 1) Definir los objetivos con impacto financiero que se pretenden lograr con el mantenimiento predictivo.
- 2) Seleccionar el equipo crítico. (Análisis de Criticidad).
- 3) Efectuar análisis de fallas y efectos.
- 4) Determinar los parámetros factibles a monitorear.
- 5) Seleccionar la técnica y el método de mantenimiento predictivo.
- 6) Definir quién tendrá la responsabilidad de llevar a cabo el mantenimiento predictivo.
- 7) Elaborar la justificación económica del programa de mantenimiento predictivo.
- 8) Elaborar los procedimientos detallados de las rutinas de mantenimiento predictivo
- 9) Capacitar y entrenar al personal en la metodología y técnicas del mantenimiento predictivo.
- 10) Dar el inicio oficial al programa de mantenimiento predictivo.

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIOS POR USO DE ACEITES LUBRICANTES

3.1.1. Pruebas que se realizan a los aceites lubricantes

El análisis de aceite tanto sintético como mineral, es una herramienta primordial para evaluar el desempeño de la maquinaria y para ello se dividen en tres categorías importantes:

- **Análisis de las propiedades de los fluidos (la salud del lubricante)**
Esta categoría del análisis de aceite trata de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y de los aditivos del aceite.

- **Análisis de contaminación (la contaminación del lubricante)**
Los contaminantes son materia externa que se introduce al sistema desde el medio ambiente o es generada internamente. La contaminación compromete la confiabilidad de la máquina y promueve la falla del lubricante. El análisis de aceite asegura que las acciones encaminadas al cumplimiento de la meta de control de contaminación se mantengan.

- **Análisis de partículas de desgaste (el desgaste de la maquinaria)**
Cuando los componentes se desgastan, generan partículas. El monitoreo continuo (toma de muestras) y análisis de las partículas generadas permite a los técnicos detectar y evaluar condiciones anormales para que puedan hacer e implementar decisiones de mantenimiento efectivas para controlar el desgaste.

3.1.2. Pruebas de análisis de aceite más comunes y los beneficios relacionados con sus tres categorías:

a) Conteo de partículas

El método de conteo de partículas proporciona la cantidad de partículas que hay en el aceite en un rango específico de tamaños por volumen de fluido (usualmente por ml o 100 ml). La concentración de partículas y sus datos de distribución deben expresarse en términos de Códigos de niveles de contaminación sólida ISO 4406 y por otros sistemas de codificación usados menos frecuentemente como NAS 1638 y SAE 749 (descontinuado). Las partículas pueden ser contadas manualmente con técnicas de microscopio óptico, o automáticamente usando contadores de partículas ópticos (Figura 3.1) o de bloqueo de poro.

Estas son las posibles causas de inconformidad en lecturas de conteo de partículas:

- **Error en el muestreo:** Pobre control sobre los procedimientos de muestreo dará como resultado falsos positivos o falsos negativos en las lecturas de conteo de partículas dependiendo de la naturaleza de la falla en el proceso de muestreo. Para ello se solicita repetir el muestreo y repetir la prueba cuando se observen altos o bajos conteos de partículas para eliminar error en el muestreo de la lista de causas posibles.
- **Error de instrumento:** Un contador de partículas está sujeto a errores relacionados con la calibración al igual que cualquier instrumento. La calibración del instrumento debe verificarse regularmente.

- **Error en los procedimientos de prueba:** Las muestras deben ser agitadas agresivamente con un agitador de los utilizados comercialmente para agitar pintura antes de comenzar las pruebas para distribuir regularmente las partículas en el aceite. La agitación manual no garantiza la resuspensión de las partículas. Igualmente, cuando se use un contador óptico de partículas, el aire atrapado y el agua suspendida deben ser removidos completamente previos a la prueba.



Figura 3.1.- Equipo Contador de Partículas Óptico

- **Ingestión de tierra:** La entrada de tierra al sistema a través de los filtros, respiradores y el aceite nuevo conducen a un aumento en el conteo de partículas.

- **Falla del filtro:** Cuando un filtro está lleno y la válvula de alivio está en derivación, o falla de alguna manera, el conteo de partículas incrementa.
- **Generación de desgaste:** Cuando los componentes de la máquina están dañados o fatigados, se liberan partículas de desgaste al aceite, ocasionando un aumento en el conteo de partículas.

b) Viscosidad

La viscosidad cinemática es la medida de la resistencia de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales. El reporte de viscosidad sólo es válido cuando se reporta a la temperatura a la que la prueba se efectuó, por Ej., 32 cSt @ 40°C. Ver Figura 3.2 (Viscosímetro cinemático automático utilizado en Laboratorios).

Pequeños cambios en la viscosidad pueden afectar adversamente el desempeño y estabilidad del lubricante causando posiblemente contacto metal-metal y desgaste. El cambio en la viscosidad del lubricante es un síntoma común de la presencia de otros problemas.

La tasa de cambio de viscosidad por la degradación del aceite depende de la presencia de agentes estresantes térmicos y oxidantes en el sistema.

Un cambio de viscosidad también puede ser resultado de lo siguiente:

- Cantidades excesivas de contaminación como agua, glicol, combustible, solventes y/o partículas muy pequeñas.
- Degradación química severa, comúnmente debida a la oxidación.
- Volatilización de los extremos ligeros del aceite básico
- Relleno con grado de viscosidad incorrecto

- Corte mecánico severo en el aceite

Estándares Aplicables: ASTM D 445



FIGURA 3.2.- Viscosímetro Cinemático automático utilizado en los laboratorios.

c) Número Básico (BN)

Aplicado principalmente a aceites de motor, el BN mide la reserva alcalina de un aceite. Los aceites de motor están equipados con aditivos que proporcionan reserva alcalina para neutralizar los ácidos generados durante la combustión. Una vez que esta reserva se agota, el aceite se puede tornar altamente corrosivo. Como en la prueba de AN, la prueba de BN se realiza por titulación colorimétrica o potenciométrica debido a lo oscuro del aceite de motor.

Para el caso del análisis de BN el aceite alcalino se neutraliza con ácido clorhídrico (preferido para análisis de aceite en uso) o ácido perclórico. Los resultados se reportan en mg KOH/gr. de aceite. La tendencia de los números BN constantemente desciende según se agota la reserva alcalina del aceite por la combustión y reacción con productos ácidos de oxidación.

Un cambio rápido en el BN puede ser causado por uno o más de los siguientes factores:

- Quemar combustible con alto contenido de azufre
- Dilución anormal de combustible o con glicol
- Mala combustión
- Exceso de fuga de gases de combustión
- Contaminación por hollín
- Oxidación severa
- Intervalos de drenado muy extendidos
- Relleno con aceite incorrecto

Estándares aplicables: ASTM D974, ASTM D2896, ASTM D4739

d) Espectroscopia Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR)

Es un método que proporciona un medio rápido para monitorear múltiples parámetros del aceite simultáneamente haciendo pasar una cantidad de espesor fijo de aceite al instrumento FTIR y se transmite energía infrarroja a través de la muestra de aceite que es absorbida en diferentes frecuencias por diferentes propiedades del aceite, sus aditivos y contaminantes tales como hollín, agua, glicol, combustible, solventes químicos, aditivos inhibidores de oxidación y antidesgaste, y degradación causada por nitración, oxidación y sulfatación.

Se aplica una Transformada Rápida de Fourier (TRF) para crear un espectro de frecuencia de energía infrarroja atenuada, o energía infrarroja transmitida ⁽³⁾. El espectro del aceite en uso se compara con la línea base de un aceite nuevo idéntico para analizar los contaminantes ya mencionados.

La espectroscopia infrarroja es única porque evalúa los componentes que constituyen la muestra de aceite a nivel molecular

El analista o el software buscan un pico espectral a frecuencias de absorción específicas llamadas números de una disminución en la absorción en las bandas espectrales relacionadas a la pérdida de ciertos aditivos (Figura 3.3)

Estándares Aplicables: Específicos del proveedor del equipo.



FIGURA 3.3.- Equipo Infrarrojo

e) Densidad Ferrosa

Determina las partículas ferrosas grandes (>5 micrones) que sugieren la presencia de condiciones de desgaste anormal y debe servir como una advertencia de falla inminente. Existen varios métodos disponibles para determinar la concentración de partículas ferrosas. La gravedad de la condición de desgaste generalmente es proporcional al aumento en la tasa de generación de partículas grandes.

Un incremento en la generación de partículas ferrosas puede ser provocado por diversos factores por ejemplo:

- Cambios en la carga a la maquinaria, por aumento de producción
- Cargas excéntricas debidas a desbalanceo o desalineación
- Insuficiente lubricación causada por aceite incorrecto, bajo volumen en el depósito/recipiente, agotamiento de aditivos o degradación del lubricante.
- Contaminación por partículas, agua, aire, refrigerante, combustible, etc.
- Fatiga del componente y desgaste.

f) Espectroscopia de Elementos

La espectroscopia de elementos cuantifica la presencia de materiales inorgánicos disueltos y no disueltos por elemento, actualmente el mas utilizado es del tipo emisión atómica. Esos instrumentos trabajan por la exposición de la muestra a temperaturas extremas generadas por un electrodo de alto voltaje o por plasma inductiva (Figura 3.4). El calor extremo volatiliza los átomos provocando que estos emitan energía en forma de luz. Cada elemento atómico emite luz a una frecuencia específica y es cuantificada por el espectrómetro a cada frecuencia y calcula la concentración de cada elemento en partes por millón (ppm). Los elementos reportados pueden proporcionar un indicador de incremento en la generación de desgaste, ingreso de contaminación o agotamiento de ciertos elementos aditivos.

La espectroscopia de emisión atómica está limitada al tamaño de la partícula. A mayores de 5 micrones las concentraciones de elementos pueden ser muy imprecisas.



FIGURA 3.4.- Equipo de Emisión Atómica ICP Plasma

g) Prueba de Punto de Flama

Esta prueba permite identificar la presencia de moléculas volátiles del combustible y otros **contaminantes inflamables**. La prueba se realiza colocando el aceite en una copa colocada bajo una flama abierta (aplicada periódicamente). El aceite en la copa abierta se calienta gradualmente y se mide su temperatura. La temperatura a la que el fluido emite suficiente vapor mezclado con aire para producir una chispa en la superficie del aceite marca el final de la prueba.

Esta prueba es importante para aceites de motor ya que mide la cantidad de dilución de combustible en el aceite, causando daño en la efectividad del lubricante y puede causar fuego o riesgo de explosión.

Aunque sobre los aceites usados se puede realizar prácticamente todas las pruebas de laboratorio que se realizan a los productos nuevos, e incluso unas cuantas más, se evaluará con mayor significancia las pruebas de Viscosidad, Oxidación en el FTIR y Metales de Desgaste ya que para el componente de motor en especial, estos análisis a pesar

pruebas de Viscosidad, Oxidación en el FTIR y Metales de Desgaste ya que para el componente de motor en especial, estos análisis a pesar que son rutinarios por naturaleza son pruebas excepcionales desencadenadas por un resultado anormal y que permitirán la comparación de los aceites al prolongarle la cantidad de horas.

- La prueba de Viscosidad brinda grandes indicios del estado general del aceite de motor mineral y sintético, según haya aumentado o disminuido con respecto al valor del aceite nuevo.
- La prueba de Oxidación se realiza mediante la Espectroscopia Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR) que proporcionará mayores criterios de evaluación sobre la fuente de la posible anomalía y el estado real del aceite.
- Una tercera prueba que es de vital importancia es la de metales de desgaste por emisión atómica en un quipo de Plasma Inductivo, mediante esta prueba se conocen los valores de los diferentes metales presentes en los aceites lubricantes de motor tales como: Hierro, Cobre, Silicio, Aluminio, Cromo, Plomo, Estaño, Potasio y Sodio. Estos valores se comparan contra los límites expuestos por el fabricante del equipo para detectar desgastes anormales.

3.1.3. Monitoreo de los aceites lubricantes usados y la interpretación de los resultados

Un sistema de monitoreo puede medir todos los aspectos de la operación de los componentes de un equipo y la base principal es el control de las tendencias, esto radicará en un adecuado y correcto programa de lubricación y en los procedimientos de muestreo de aceite, que tienen gran efecto en los resultados de las mediciones. Es por ello que con el

análisis de tendencias, con un programa de mantenimiento adecuado y una buena práctica de muestreo se pueden obtener indicios confiables de falla de los componentes de un equipo tal es el caso de un motor, relacionados con el aceite lubricante y con el desgaste.

Para el caso de los motores Diesel el monitoreo se debe iniciar en aquellos motores calificados como críticos, debe continuar en los motores donde las fallas se desarrollan rápidamente, seguidos por los motores que ocasionan consecuencias económicas severas y, finalmente, los motores con fallas conocidas y/o con historial de fallas. El departamento de mantenimiento se debe encargar de seleccionar los motores críticos y de recolectar sus datos de operación. Posteriormente, se deberá establecer si se está usando el aceite lubricante más apropiado para el tipo de operación y se implementará un programa de muestreo de aceite lubricante para establecer los periodos óptimos de cambio.

Una vez que se seleccionen los motores representativos, que estarán controlados por el programa, se deberá asignar un archivo manual o electrónico para cada motor, en el que se deben incluir los siguientes datos:

- Código del equipo.
- Año de fabricación
- Descripción del equipo.
- Lugar de trabajo.
- Marca y modelo.
- Número de serie del motor Diesel.
- Lectura acumulada del horómetro o kilometraje acumulado de servicio del equipo.
- Horas desde la última reparación.
- Horas de servicio del aceite.

- Rellenos.
- Potencia del motor (Kw.).
- Aceite lubricante que usa el motor.
- Capacidad del cárter.

Está información es fundamental para realizar la interpretación adecuada de los análisis.

La interpretación de la información del análisis de aceite requiere de la comprensión de las pruebas especificadas en la sección 3.1.2 y entender como estas se relacionan cuando cambian las condiciones del aceite y de la máquina.

Se ha determinado que no siempre es suficiente cambiar el aceite después de la contaminación o degradación para prevenir el deterioro posterior del componente de un equipo, es necesario saber cuánto tiempo estuvo presente el problema en el aceite lubricante y si existió alguna relación con las fallas secundarias del componente. Por ello, el efecto que pueden tener las fallas del aceite lubricante en la confiabilidad del componente (para el caso de un motor) depende principalmente de:

- El nivel y naturaleza de la falla.
- El intervalo de tiempo que estuvo presente la falla.
- El efecto que tiene la falla del aceite en otros mecanismos del motor.
- La cantidad de aceite lubricante presente en el sistema (capacidad del cárter) y su efecto en la ocurrencia de la falla.
- La cantidad de aceite lubricante consumido y/o añadido durante el periodo de tiempo.
- Las condiciones de operación durante el periodo de tiempo.

Respecto a los niveles de alarmas utilizadas en la interpretación de la información del análisis de aceite muchos usuarios definen los límites de

alarma de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes de aceite lubricante, sin embargo, los fabricantes de motores recomiendan que los niveles de alarma sean establecidos a base de los datos históricos.

3.2. BENEFICIOS DEL CAMBIO DE ACEITE MINERAL POR EL ACEITE SINTÉTICO

Se presentará más adelante un caso demostrativo de los beneficios que genera el uso de un aceite lubricante sintético por un aceite lubricante mineral en el motor de los camiones Caterpillar 793C, utilizados en aplicaciones de trabajo pesado, permitiendo extender los intervalos de recambio del aceite, aumentar la disponibilidad de los equipos, ahorrar lubricante así como disminuir los residuos que genera, esto en conjunto con un adecuado y correcto programa de lubricación.

3.2.1. Beneficio Económico

El costo inicial de un aceite sintético es mucho mayor que el de un aceite mineral, como se aprecia en la tabla en mención (Tabla 3.1), para el aceite de motor utilizado en Camiones Caterpillar 793C, según los datos proporcionados por la minera.

Tabla 3.1.- Precios de los Aceite de Motor

ACEITE DE MOTOR	PRECIO US\$/CILINDRO
ACEITE SINTÉTICO DELVAC 5W-40	1200
ACEITE MINERAL DELVAC MX	400

Pero con el tiempo se apreciará la reducción de costos, debiéndose:

- **Mejor desempeño a alta temperatura**
- **Excelente resistencia a la oxidación**
- **Propiedades de fluidez a bajas temperaturas**
- **Protección contra el desgaste**
- **Disminución del consumo de aceite**
- **Extensión de recambio del aceite**

3.2.2. Beneficio en la disposición final de los residuos

Como se mencionó, uno de los principales beneficios del uso del aceite sintético es extender la vida del aceite generando como consecuencia no solo beneficios económicos sino también beneficios en la disposición final de los residuos ya que se realizan menos cambios de aceite no necesitando mas cantidad de tanques para su depósito, ocupando menos espacios y menos transporte de este aceite.

IV. ESTUDIO DEL CASO DE MOTORES DE LOS CAMIONES CATERPILLAR 793C

A continuación se presenta un caso demostrativo de los beneficios que genera utilizar un aceite sintético por un mineral en los motores Caterpillar 793C en la minera Antamina ubicada en la sierra norte del país (Figura 4.1).

El aceite mineral utilizado en la minera llámese para efectos prácticos “MX 15W/40”, está formulado con aceites básicos de alta tecnología y un sistema de aditivos de última generación, y el aceite sintético que se empleará llamémosle “Delvac 5W-40” es un aceite totalmente sintético de rendimiento supremo para motores diesel de servicio pesado que mediante el estudio económico y de disposición final de los residuos, ayudará a prolongar la vida útil de los modernos motores de los camiones Caterpillar 793C, utilizados en aplicaciones de trabajo pesado.

Para poder realizar el estudio del cambio de aceite mineral por el sintético Delvac 5w-40 y obtener los beneficios deseados se realizó un monitoreo de estos aceites de motor por el área de Mantenimiento Predictivo en conjunto con los reportes enviados por el laboratorio. La prueba fue realizada a 4 camiones CAT 793C de 55 que posee la compañía minera entre el año 2008 y 2009.



FIGURA 4.1.- Camiones Caterpillar 793C

Generalidades

Nº de equipos pesados	4	Camiones
Capacidad del cárter del Equipo	77	Galones
Costo por hora parada	460	US\$/hora
Periodo máximo de trabajo de un motor 793C	14000	Horas
Costo del aceite lubricante MX 15W/40	7.27	US\$/galón
Costo del aceite lubricante Delvac 5W-40	21.82	US\$/galón

Estos datos fueron proporcionados por la minera.

4.1. DISMINUCIÓN DE CAMBIOS DE ACEITE EN LAS PARADAS PROGRAMADAS

De acuerdo a lo establecido por la minera, los cambios de aceite mineral MX 15W/40 se realizan alrededor de las 300 horas y los aceites sintéticos Delvac 5W-40 se dan alrededor de las 650 horas, prolongando en más del doble el tiempo de cambio. Este periodo se determinó gracias al monitoreo e interpretación adecuada de los análisis de aceites de las muestras de motor tomadas inicialmente a algunos motores que utilizan el aceite mineral, considerando no excedan los límites condenatorios establecidos. Un claro ejemplo puede verse en la data completa en el Anexo 01 (Monitoreo del motor HTENG024-5, utilizando aceite MX correspondiente al 2009), con esta información y la de otros 54 camiones desde el año 2005 al 2009 permitió determinar los límites adecuados para este aceite, Ver Anexo 02.

Esa información sirvió además como base para establecer los Límites para el aceite sintético Delvac 5W-40. Ver Anexo 04 (Determinación de Límites de Desgastes para el Delvac 5W-40) y el monitoreo completo de

4.2. INCREMENTO EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS

En cada parada programada PM de aproximadamente 8 horas, se debe realizar el cambio de aceite que dura 2 horas (datos proporcionados por la minera). Al usar el Aceite Delvac 5W-40 en los motores 793C los PMs se ven reducidos de 23PMs a 12PMs, aumentando la disponibilidad de un equipo en 22 horas en total.

$$\begin{array}{l} \text{Ahorro de PMs} \\ \text{Totales al año} \end{array} = 11 \text{ PMs/camión}$$

Considerando Horas perdidas por parada de Operación = 2 / PM.

Entonces:

$$\text{Aumento de Horas Disponibles} = 2 \text{ Horas/PM} \times 11 \text{ PMs/Camión}$$

$$\text{Aumento de Horas Disponibles} = 22 \text{ Horas/Camión}$$

4.3. ESTUDIO COSTO/BENEFICIO DEL CONSUMO DE ACEITE SINTÉTICO

De acuerdo a los datos obtenidos, se sabe que el costo de un aceite sintético utilizado en la empresa minera es 3 veces más caro que el aceite mineral, inicialmente se puede apreciar costos elevados (costo del la compra del aceite sintético) pero en el mediano plazo resulta bastante beneficioso para la compañía realizar el cambio (ahorro por aumento de disponibilidad de los equipos, extensión de vida del aceite).

En un año para un solo camión:

Capacidad del cárter del camión	77 Galones
Costo por hora parada	460 US\$/Hora
Costo del aceite lubricante sintético utilizado	21.82 US\$/Galón
Costo del lubricante mineral utilizado	7.27 US\$/Galón
PMs de camiones con aceite mineral	23 PMs/Camión
PMs de camiones a pruebas con aceite sintético	12 PMs/Camión

a) Costo por consumo de aceite lubricante mineral

$$= 7.27 \text{ US$/Galón} \times 77 \text{ Galones} \times 23 \text{ PMs/Camión}$$

$$= 12875,17 \text{ US$/Camión}$$

b) Costo por consumo de aceite lubricante sintético

$$= 21.82 \text{ US$/Galón} \times 77 \text{ Galones} \times 12 \text{ PMs/Camión}$$

$$= 20161,68 \text{ US$/Camión}$$

c) Ganancia del proveedor de lubricantes (b-a)

$$= 20161,68 - 12875,17$$

$$= 7286,51 \text{ US$/Camión}$$

(Que es igual a la Inversión en la compra del aceite sintético).

d) Ahorros por aumento de disponibilidad de los equipos

$$= 22 \text{ Horas/Camión} \times 460 \text{ US$/Hora}$$

$$= 10120,00 \text{ US$/Camión}$$

e) Beneficio total de la minera (d-c)

$$\begin{aligned}
 & \text{Ahorro por Disponibilidad} && \text{Inversión en la compra del} \\
 = & \text{de equipos} && \text{aceite sintético} \\
 & && \\
 & && = 10120,00 - 7286,51 \\
 & && \\
 & && = 2833,49 \text{ US$/Camión}
 \end{aligned}$$

f) Beneficio total de la minera por los 4 equipos a prueba

$$\begin{aligned}
 & = 2833,49 \text{ US$/Camión} \times 4 \text{ camiones} \\
 & \\
 & = 11333,96 \text{ US\$}
 \end{aligned}$$

g) Beneficio total de la minera por la flota

La minera cuenta con 55 camiones 793C y con posibilidad de expandir su flota a 3 veces más. Si se cambiaran todos los motores con aceite sintético, entonces el beneficio total de la minera por la flota sería:

$$= 2833,49 \text{ US$/Camión} \times 55 \text{ Camiones}$$

Esto es, el Beneficio total de la minera por la flota es:

$$= \text{US\$ } 155841,95$$

En los cálculos no se está considerando los beneficios propios de la aplicación del aceite sintético en la protección del motor que comprendería mayor uso, extendiendo su tiempo de vida antes de realizarse el cambio del motor.

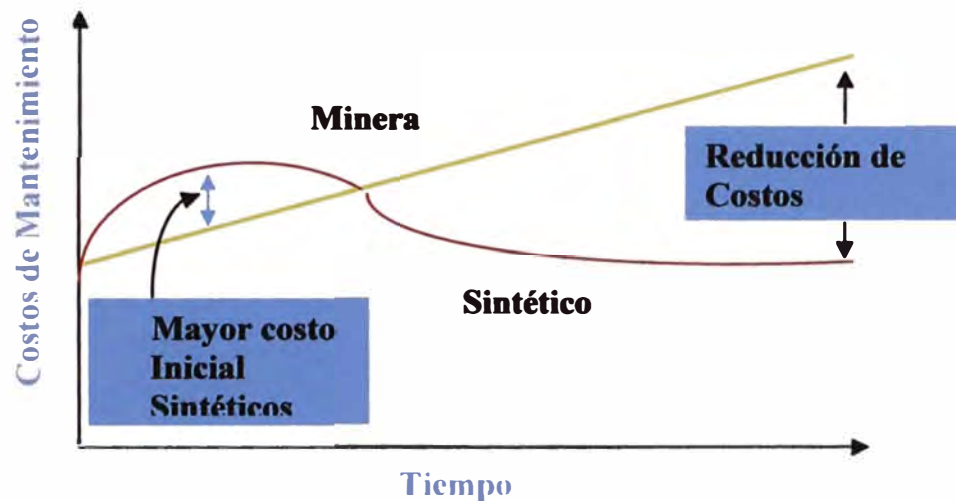


FIGURA 4.2.- Costos de Mantenimiento Mineral vs. Sintético

En la figura 4.2, se representa lo descrito en el estudio costo/beneficio del consumo de aceite sintético, inicialmente su costo es mayor (4.3 b), para generar posteriormente mayores beneficios (4.3 g).

4.4. BENEFICIO EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS

En Antamina reutilizan como insumo el aceite usado de los motores y de los otros componentes sin ningún tratamiento adicional en las voladuras de la mina, usando un promedio de 132000 galones/año (dato proporcionado por la minera). Lo demás es entregado a una empresa transportista certificada para trasladarlo a otra empresa que se encarga de reprocesarlo o darle otra disposición final.

Con estos datos se esperaría que utilizando el aceite Delvac 5W-40 en toda su flota, la disminución de la cantidad de los residuos disminuiría notablemente y se reutilizaría casi en su totalidad, ya no necesitando almacenarlos en varios tanques, disminuyendo los costos por la administración de los residuos, su disposición y sobre todo disminuir la

probabilidad de causar contaminación al medio ambiente como es la contaminación del suelo.

Cabe decir que la minera se encuentra en expansión y se espera triplicar la flota, con ello la cantidad de residuos de aceite se incrementaría notablemente, por lo que sería necesario en este caso tener mayor cantidad de tanques para el almacenamiento del aceite usado, además de contratar mas transporte para el aceite excedente si se continuará utilizando aceite mineral.

A la fecha la minera cuenta con 2 tanques de 13000 galones/cada uno de capacidad, previstos para la disposición de los lubricantes usados antes de ser llevados para las voladuras.

De toda la flota CAT 793C:

Capacidad del cárter del camión	77 Galones
Número de unidades	55 Camiones

a) Consumo de aceite lubricante mineral

$$= 77 \text{ Galones} \times 23 \text{ PMs} / \text{camión}$$

$$= 1771 \text{ Galones/Camión}$$

b) Consumo de aceite lubricante mineral de la Flota

$$= 1771 \text{ Galones/Camión} \times 55 \text{ camiones}$$

$$= 97405 \text{ Galones}$$

c) Consumo de aceite lubricante sintético

$$= 77 \text{ Galones} \times 12 \text{ PMs} / \text{camión}$$

= 924 Galones/Camión

d) Consumo de aceite lubricante sintético por los 4 equipos a prueba

= 924 Galones/Camión x 4 camiones

= **3696 Galones**

Si todos los equipos utilizaran aceite sintético, el consumo sería:

e) Consumo de aceite lubricante sintético de la flota

= 924 Galones/Camión x 55 camiones

= **50820 Galones**

f) Beneficio en la Disposición final del aceite usado

= 97405 - 50820

= **46585 Galones**

Con estos cálculos se puede apreciar claramente el ahorro considerable del consumo de lubricante que se obtendría, cantidad necesaria para el requerimiento como insumo en las voladuras de la minera.

4.5. MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL CASO PRESENTADO

De acuerdo a los resultados:

Metales de Desgaste

- El nivel de metales de desgaste encontrado con el Delvac 5W-40 se

encuentra dentro de valores normales para 650 horas, por lo que la tasa de desgaste con este aceite no debería de superar la tasa de desgaste con el aceite MX 5W/40. En este caso dado que la extensión se da un poco mayor al doble de horas, una primera aproximación fue duplicar los límites condenatorios de un aceite mineral a las 300 horas.

Ver Anexo 04 (Determinación de Límites de Desgastes para el Delvac 5W-40). Ver Anexo 05 (Gráfica de Metales de Desgaste de Fe, Al, Pb, Cr del componente de motor HTENG024-5)

- Para el caso del análisis del metal de Cobre en el aceite Delvac 5W-40 se produce un incremento mayor en comparación con el aceite mineral producto de la pasivación, característico de un aceite sintético.

Ver Anexo 04 (Determinación de Límites de Desgastes para el Delvac 5W-40). Ver Anexo 05 (Gráfica de Metales de Desgaste de Cu del componente de motor HTENG024-5)

Oxidación

- La tasa de incremento de la oxidación con el aceite Delvac 5W-40 no debería de superar la tasa de incremento de la oxidación con el aceite MX. En este caso dado que la extensión se da mayor al doble de horas, una primera aproximación fue duplicar los límites condenatorios de un aceite mineral a las 300 horas y para esta prolongación de horas, la oxidación del aceite sintético no se ve afectada considerablemente.

Ver Anexo 04 (Determinación de Límites de Desgastes para el Delvac 5W-40). Ver Anexo 05 (Gráfica de Oxidación del componente de motor HTENG024-5).

Viscosidad

- Las pruebas estándar desarrolladas para medir el incremento de la viscosidad debido a la oxidación muestran que este factor es mucho más crítico en un aceite mineral que en un aceite sintético.

Ver Anexo 04 (Determinación de Límites de Desgastes para el Delvac 5W-40). Ver Anexo 05 (Gráfica de Viscosidad del componente de motor HTENG024-5).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El costo del aceite sintético inicialmente es más elevado en comparación con el de un aceite mineral, pero su uso adecuado genera una serie de beneficios que llevan a reducir los costos de mantenimiento. De los 4 equipos puestos a prueba con el cambio de aceite sintético por el mineral, se obtuvo beneficios económicos de US\$ 11333,96 y si se cambiara en toda la flota se esperarían beneficios de US\$ 155841,95 y el beneficio en la disposición final de los aceites usados sería de 46585 galones.
- De acuerdo a la data obtenida de oxidación, se concluye una mayor resistencia a la oxidación de los aceites sintéticos, permitiendo periodos extendidos de cambio del aceite.
- Según los resultados de metales de desgaste alcanzados, existe un nivel de desgaste menor utilizando un aceite sintético que un aceite mineral y esto permitirá extender la vida de un motor.
- Los aceites minerales aumentan su viscosidad mucho más rápidamente que los lubricantes totalmente sintéticos.
- Cuando las máquinas están trabajando bajo condiciones normales de operación, los aceites minerales son suficientes, sin embargo, cuando las condiciones de operación son severas, como por ejemplo:
 - Temperaturas extremadamente altas / bajas
 - Carga pesada y alta velocidad
 - Oxidación
 - Desgaste excesivo

Estas condiciones siempre llevan a los problemas de operación, por lo que utilizar lubricantes sintéticos ofrecerá distintas ventajas las cuales prolongarán la vida útil de los componentes de las máquinas y reducirán los cambios de aceite, al igual que reducirán o eliminarán las fallas en los equipos y las interrupciones no programadas.

- Un lubricante sintético es aquel que ha sido sintetizado y formulado de manera específica para esas aplicaciones en donde un producto mineral, procesado del crudo natural, no proveerá el desempeño requerido.
- Las moléculas de los lubricantes totalmente sintéticos son consistentes en forma y tamaño ya que son moléculas fabricadas por el hombre, con estructura controlada, propiedades predecibles y se pueden seleccionar para características específicas. Su estructura única provee una excelente resistencia a la oxidación y una mejor protección contra el desgaste.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es importante que las industrias decidan apostar por nuevas tecnologías de lubricación, un claro ejemplo es el empleo del aceite sintético que permite reducir notablemente el consumo del aceite en los motores diesel.
- Si bien es cierto el costo de un aceite lubricante sintético es mucho mayor que el de un aceite lubricante mineral, el costo del aceite adecuado no es el costo real de la lubricación. Las consecuencias de elegir un lubricante incorrecto, tales como disminución de la producción debido a incrementos en el mantenimiento y a mayores paradas, o una disminución en la disponibilidad de las maquinarias, son los costos reales involucrados.

Normalmente, el costo del aceite es de solo el 5 - 10% del costo total de mantenimiento. Invertir en los lubricantes sintéticos ayudará a reducir el otro 90 - 95%.

- Un beneficio claro es que los lubricantes sintéticos no necesitan ser cambiados tan frecuentemente como un aceite mineral debido a que son mas estables a altas temperaturas, resisten la degradación térmica y no hay una alteración predominante de la viscosidad, permitiendo así mayores intervalos extendidos de drenaje que conduce a una reducción de los costos de mantenimiento, conservar un recurso valioso y reducir el volumen de aceite usado que finalmente termina en el medio ambiente.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- 1. Cruz I. Situación y Perspectivas de la minería peruana. Boletín Minero N°1216.**
- 2. Tecsup. “Principios de la Lubricación”. Manual de referencia. Lima-Perú, 2008. Capitulo 2. Pág. 9-11, 23-24, 29.**
- 3. Fitch J. y Trujillo G. Oil Analysis Basics –Noria 2007. Pág.4-5, 9-10, 48.**
- 4. Oliver C. y Anderson H. “La Operación y Mantenimiento de Motores diesel de alta Velocidad” en Suplemento de Lubricación publicado por Texaco. 1996. Vol. 76, No.4. Pág. 3-4.**
- 5. Clasificación de los aceites lubricantes para motores en www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm.**
- 6. Fichas técnicas de productos lubricantes para motores diesel en www.mobil.com.**
- 7. Trujillo, G. Guía de Procedencia de Elementos en el Aceite Usado publicado por Corporación Noria. México, 2002. Pág. 28-32.**

ANEXO 01

**MONITOREO DEL MOTOR HTENG024-5, UTILIZANDO ACEITE
MX CORRESPONDIENTE AL 2009).**

**RESULTADO DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS TOMADAS DEL COMPONENTE DE MOTOR HTENG024-5
UTILIZANDO ACEITE MX**

Fecha de Muestreo	Horas del aceite	Viscosidad a 100°C	Si	Fe	Al	Cu	Pb	Cr	K	Na	Oxidación	Nitración	Sulfatación	Hollín
15-sep-09	270	13,3	0,3	10,3	0,6	1,3	1,0	0,2	0,6	0,7	3,94	5,47	9,34	0,202
13-sep-09	200	13,4	2,1	10,7	0,9	1,4	1,2	0,2	0,6	0,9	3,82	5,54	9,18	0,189
09-sep-09	159	13,3	0,8	7,5	0,9	0,9	1,0	0,2	0,2	1,5	3,39	4,86	8,34	0,163
06-sep-09	116	13,3	1,6	5,7	0,7	0,6	0,7	0,2	0,3	1,1	1,93	3,31	6,47	0,092
04-sep-09	78	13,3	0,1	4,8	0,6	0,5	0,5	0,1	0,1	1,1	1,56	2,57	4,41	0,051
28-ago-09	262	13,5	0,3	12,7	0,9	1,5	1,4	0,3	0,3	1,4	5,19	6,26	12,14	0,203
25-ago-09	244	13,5	2,1	12,2	0,9	1,4	1,5	0,3	0,4	1,4	4,76	6,21	11,35	0,263
19-ago-09	137	13,3	2,5	6,0	0,8	0,8	0,8	0,2	0,4	0,2	2,68	4,15	7,27	0,119
16-ago-09	66	13,4	0,1	4,3	0,6	0,5	0,2	0,2	0,4	0,0	1,57	2,23	4,66	0,040
08-ago-09	288	13,5	0,3	11,7	1,0	1,6	1,8	0,2	0,3	2,2	5,56	6,49	12,89	0,243
05-ago-09	226	13,6	0,3	8,8	0,8	1,1	1,3	0,2	0,6	1,0	4,26	5,45	10,79	0,187
02-ago-09	171	13,5	0,9	7,7	0,7	0,9	1,2	0,2	0,4	1,1	3,69	4,91	9,42	0,154
30-jul-09	104	13,4	1,9	5,9	0,7	0,7	0,7	0,2	1,0	1,3	2,76	3,70	7,15	0,074
25-jul-09	291	13,4	1,9	10,5	0,9	1,4	1,4	0,3	1,0	2,0	5,67	6,06	13,25	0,211
23-jul-09	265	13,4	0,8	9,3	0,8	1,3	1,2	0,3	0,7	1,2	4,70	5,49	11,67	0,180
16-jul-09	121	13,3	0,3	5,0	0,6	0,5	0,1	0,1	0,6	0,6	2,33	3,25	6,74	0,089
14-jul-09	58	13,3	0,9	4,0	0,6	0,4	0,4	0,1	0,6	0,7	1,23	1,93	4,24	0,029
11-jul-09	20	13,5	2,6	3,1	0,5	0,2	0,2	0,1	0,6	3,1	0,60	0,96	2,48	0,000

09-jul-09	176	13,2	0,3	6,8	0,6	0,9	1,1	0,2	0,9	2,1	3,06	4,14	9,51	0,136
08-jul-09	161	13,5	1,3	6,6	0,7	0,8	0,9	0,2	1,1	0,0	2,83	3,96	8,94	0,149
05-jul-09	104	13,5	0,3	4,6	0,6	0,4	0,4	0,1	0,4	2,6	1,50	2,66	6,09	0,065
01-jul-09	24	13,5	0,3	2,4	0,4	0,1	0,1	0,0	0,5	2,3	0,56	0,83	2,08	0,000
27-jun-09	85	13,4	0,3	3,8	0,7	0,5	0,4	0,0	0,4	1,2	1,46	2,39	5,05	0,063
24-jun-09	26	13,6	0,3	2,5	0,6	0,2	0,4	0,1	0,1	2,0	0,53	0,91	2,04	0,000
22-jun-09	186	13,5	0,5	6,7	0,7	1,0	0,8	0,2	0,7	2,1	3,54	4,90	9,31	0,137
18-jun-09	106	13,6	2,1	4,5	0,5	0,5	0,3	0,1	0,5	1,3	1,92	3,24	6,06	0,064
14-jun-09	31	13,6	0,3	2,8	0,1	0,2	0,0	0,1	0,9	2,2	0,72	1,38	2,73	0,000
09-jun-09	99	13,6	1,5	3,9	0,5	0,6	0,1	0,1	0,5	1,0	1,71	2,61	4,99	0,051
03-jun-09	204	13,5	2,5	8,0	0,9	1,2	0,6	0,3	0,8	2,2	3,10	4,05	7,64	0,111
31-may-09	138	13,5	0,2	5,5	0,6	0,8	0,1	0,2	1,1	0,8	1,50	2,51	4,63	0,050
28-may-09	84	13,6	1,0	3,9	0,5	0,3	0,1	0,0	0,5	1,5	0,54	1,06	2,04	0,000
25-may-09	25	13,0	3,3	10,9	0,9	1,0	0,0	0,3	0,7	1,3	0,53	1,09	2,15	0,031
14-may-09	163	13,5	1,1	4,6	0,6	0,7	0,3	0,0	0,3	1,5	2,42	3,58	6,98	0,095
11-may-09	98	13,5	0,7	3,3	0,5	0,5	0,1	0,0	0,9	0,0	1,34	2,55	4,40	0,040
08-may-09	37	13,6	1,1	2,4	0,4	0,3	0,1	0,0	0,6	0,3	0,57	0,83	1,77	0,000
04-may-09	39	13,6	1,7	5,8	0,7	1,7	1,0	0,2	0,7	1,3	0,88	1,43	3,28	0,019
01-may-09	257	13,5	0,3	11,1	0,4	12,4	2,0	0,3	0,5	1,4	4,37	5,36	12,60	0,259
27-abr-09	200	13,5	0,8	8,6	0,6	11,2	2,2	0,3	0,4	1,2	3,70	4,40	10,46	0,188
25-abr-09	153	13,4	0,3	6,4	0,5	9,7	1,6	0,3	0,3	1,0	2,89	3,78	8,34	0,134
22-abr-09	99	13,4	0,3	5,6	0,4	4,7	1,3	0,3	0,3	0,8	1,94	3,05	6,07	0,072
16-abr-09	260	13,6	0,8	10,6	0,3	1,5	1,7	0,5	0,4	1,1	4,91	5,75	13,08	0,150
12-abr-09	238	13,5	0,3	7,4	0,0	0,9	1,4	0,1	0,4	0,1	3,73	4,60	10,14	0,181
09-abr-09	137	13,5	0,3	6,5	0,1	0,8	1,1	0,1	0,4	1,0	2,80	3,80	7,97	0,120

05-abr-09	53	13,6	0,3	3,9	0,0	0,4	1,0	0,1	0,3	0,9	1,40	1,90	4,08	0,045
01-abr-09	294	13,7	0,3	15,6	0,7	1,6	2,0	0,2	0,6	1,1	5,40	6,16	14,50	0,285
29-mar-09	241	13,6	0,3	13,6	0,7	1,5	1,8	0,4	0,6	1,2	4,60	5,49	12,47	0,245
27-mar-09	164	13,7	0,3	11,7	0,4	1,1	1,7	0,3	0,5	1,1	3,35	4,63	10,38	0,174
23-mar-09	132	13,6	0,3	8,5	0,2	0,8	1,6	0,2	0,4	0,8	2,52	3,65	8,17	0,125
18-mar-09	48	13,9	0,3	4,8	0,0	0,4	0,6	0,1	0,3	0,6	1,26	1,53	3,93	0,045
12-mar-09	323	13,7	0,3	17,0	1,0	2,2	2,2	0,5	0,5	1,2	5,91	6,30	16,05	0,306
05-mar-09	209	13,7	0,3	10,1	0,9	1,4	1,9	0,3	0,4	1,0	4,24	4,96	12,51	0,209
20-feb-09	198	13,7	1,1	15,9	1,1	1,2	2,4	0,2	0,6	1,2	4,07	5,30	11,55	0,194
16-feb-09	116	13,7	1,1	12,8	0,8	1,2	1,6	0,2	0,5	1,0	3,28	4,39	9,53	0,155
28-ene-09	37	13,8	0,3	6,4	0,8	1,6	1,1	0,0	0,4	0,9	1,73	2,44	5,72	0,090
24-ene-09	340	13,5	0,3	18,0	0,8	2,2	2,3	0,5	0,5	1,1	6,39	6,80	16,50	0,402
23-ene-09	314	13,6	0,3	17,3	0,5	1,8	2,1	0,3	0,6	1,3	5,86	6,40	15,21	0,367
15-ene-09	45	13,4	0,3	8,9	0,3	0,7	1,0	0,1	0,6	1,2	2,34	3,36	7,77	0,171
11-ene-09	82	13,6	0,3	5,7	0,3	0,4	0,9	0,1	0,5	1,0	1,04	2,14	4,36	0,098
05-ene-09	312	13,6	0,5	9,9	1,2	1,0	1,6	0,4	0,6	1,6	1,24	2,00	4,22	0,115

ANEXO 02

LIMITES DE DESGASTE PARA EL ACEITE DELVAC MX

DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE DESGASTES PARA EL DELVAC MX

Determinación de Límites de Desgastes de Fe para el Delvac MX

Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2005	864	273	10,4	4,4	19,1	23,5
2006	1073	265	11,2	4,1	19,3	23,4
2007	1145	273	10,8	4,4	19,7	24,2
2008	1189	248	10,3	4	18,3	22,3
2009	1508	199	10,6	4,4	19,5	23,9

Determinación de Límites de Desgastes de Al para el Delvac MX

Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2005	864	273	0,8	0,8	2,4	3,2
2006	1073	265	0,2	0,4	1,0	1,4
2007	1145	273	0,5	0,5	1,6	2,1
2008	1189	248	0,6	0,6	1,8	2,4
2009	1508	199	0,8	0,6	2,0	2,6

Determinación de Límites de Desgastes de Pb para el Delvac MX

Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2005	864	273	1,6	1,0	3,6	4,5
2006	1073	265	1,5	1,0	3,4	4,3
2007	1145	273	2,2	0,8	3,8	4,5
2008	1189	248	1,9	0,8	3,5	4,3
2009	1508	199	1,4	1,1	3,6	4,7

Determinación de Límites de Oxidación para el Delvac MX

Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2005	864	273	4,0	1,7	7,3	9,0
2006	1073	265	3,9	1,3	6,5	7,8
2007	1145	273	4,3	1,6	7,5	9,1
2008	1189	248	4,3	1,7	7,8	9,5
2009	1508	199	3,2	1,7	6,6	8,3

Determinación de Límites de Soot Index para el Delvac MX

Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2005	864	273	0,3	0,2	0,7	0,9
2006	1073	265	0,3	0,1	0,6	0,7
2007	1145	273	0,3	0,1	0,6	0,7
2008	1189	248	0,3	0,1	0,5	0,7
2009	1508	199	0,2	0,1	0,4	0,6

Determinación de Límites de Viscosidad para el Delvac MX

Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2005	864	273	13,2	0,4	14,1	14,5
2006	1073	265	13,2	0,5	14,2	14,7
2007	1145	273	13,4	0,7	14,9	15,6
2008	1189	248	13,3	0,7	14,6	15,3
2009	1508	199	13,4	0,4	14,2	14,6

(1) Muestras de Delvac MX registradas en el programa Monitor

(2) Límite de Precaución = Promedio + 2 x Desviación Estándar

(3) Límite Crítico = Promedio + 3 x Desviación Estándar

ANEXO 03

MONITOREO DEL MOTOR A PRUEBA UTILIZANDO ACEITE SINTÉTICO

**RESULTADO DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS TOMADAS DEL COMPONENTE DE MOTOR HTENG033-5
UTILIZANDO DELVAC 5W40**

Fecha De Muestreo	Horas del aceite	Viscosidad a 100°C	Si	Fe	Al	Cu	Pb	Cr	K	Na	Oxidación	Nitración	Sulfatación	Hollín
24-oct-09	851	13,7	0,3	25,2	0,7	2,8	3,8	0,5	0,4	0,2	10,29	10,24	21,43	0,761
22-oct-09	811	13,7	0,3	24,9	0,6	2,7	3,4	0,5	0,2	0,0	9,96	9,99	20,69	0,726
19-oct-09	740	13,8	0,3	22,1	0,7	2,3	3,4	0,4	0,1	0,1	9,83	10,11	19,81	0,691
18-oct-09	719	13,8	0,3	21,5	0,6	2,4	3,3	0,4	0,1	0,0	10,21	10,38	19,74	0,673
14-oct-09	637	13,8	0,0	19,2	0,6	1,9	1,9	0,4	0,4	0,0	9,58	9,78	18,77	0,633
10-oct-09	563	13,6	0,0	17,4	0,7	1,9	2,4	0,3	0,5	0,0	8,98	8,78	17,75	0,588
07-oct-09	519	13,9	0,3	14,6	0,6	1,5	1,5	0,3	0,4	0,4	6,65	7,21	13,51	0,450
04-oct-09	466	13,9	0,3	13,8	0,6	1,4	1,2	0,3	0,1	0,0	6,70	7,42	14,22	0,466
17-sep-09	117	14,0	0,3	6,9	0,1	0,7	0,7	0,1	0,1	0,2	6,05	6,73	13,41	0,436
11-sep-09	800	13,7	0,3	18,6	0,6	2,4	2,9	0,4	0,0	0,2	9,04	9,39	18,51	0,529
10-sep-09	782	13,7	0,3	18,1	0,6	2,3	2,5	0,4	0,3	0,4	8,79	8,58	17,99	0,517
09-sep-09	775	13,7	0,3	17,8	0,6	2,2	2,5	0,5	0,4	0,9	8,41	8,39	17,40	0,490
08-sep-09	786	13,8	0,3	17,0	0,6	2,3	2,5	0,4	0,4	0,6	7,45	7,60	15,97	0,441
06-sep-09	715	13,7	0,0	15,6	0,5	1,9	1,9	0,4	0,2	0,0	8,80	8,77	16,13	0,449
05-sep-09	687	13,8	0,0	15,3	0,5	1,9	2,2	0,3	0,2	0,0	8,69	8,70	15,89	0,431
04-sep-09	662	13,9	0,0	14,0	0,4	1,6	1,8	0,4	0,3	0,4	7,89	8,16	16,62	0,441

03-sep-09	634	13,8	0,0	15,1	0,5	1,7	1,8	0,3	0,2	0,3	8,58	8,98	16,00	0,429
01-sep-09	609	13,7	0,3	14,2	0,4	1,6	1,6	0,3	0,1	0,2	7,66	7,97	15,43	0,411
31-ago-09	587	13,9	0,3	13,9	0,5	1,7	1,6	0,3	0,0	0,1	7,88	8,31	15,08	0,384
29-ago-09	553	13,8	0,3	12,7	0,6	1,7	1,5	0,3	0,4	0,0	7,45	7,89	14,69	0,365
28-ago-09	527	13,9	0,3	11,4	0,4	1,5	1,4	0,3	0,1	0,2	6,77	7,33	13,20	0,341
27-ago-09	510	14,0	0,3	10,0	0,4	1,3	1,4	0,3	0,2	0,1	7,37	8,00	14,92	0,384
26-ago-09	490	13,8	0,3	11,6	0,3	1,4	1,4	0,3	0,3	0,0	7,32	7,92	14,69	0,365
25-ago-09	472	13,9	0,3	11,2	0,4	1,4	1,4	0,4	0,1	0,0	7,17	7,77	14,17	0,356
25-ago-09	463	13,9	0,3	10,9	0,3	1,4	1,1	0,4	0,1	0,0	7,09	7,89	14,42	0,330
24-ago-09	440	13,8	0,3	10,1	0,3	1,2	1,0	0,2	0,2	0,0	6,58	7,13	13,26	0,312
23-ago-09	414	13,8	0,3	9,2	0,3	1,2	0,9	0,2	0,8	0,6	9,62	9,50	19,93	0,424
21-ago-09	386	13,8	0,3	9,1	0,5	1,1	1,1	0,3	0,2	0,1	8,69	9,06	18,47	0,387
20-ago-09	366	13,8	0,3	8,2	0,3	1,1	0,8	0,2	0,5	0,0	8,53	8,82	18,15	0,379
12-ago-09	203	13,9	0,3	4,5	0,2	0,6	0,4	0,1	0,5	0,0	8,20	8,62	17,67	0,364
09-ago-09	150	13,7	0,3	3,7	0,1	0,5	0,5	0,1	0,4	0,0	7,83	7,62	16,53	0,344
30-jul-09	733	13,8	0,3	16,6	0,6	2,5	2,6	0,6	0,4	0,1	7,69	7,66	16,68	0,340
25-jul-09	627	13,8	0,3	14,6	0,5	1,9	2,0	0,5	0,4	0,2	7,40	7,54	16,44	0,315
23-jul-09	604	13,8	0,3	13,7	0,5	1,8	1,8	0,5	0,4	0,0	7,15	7,32	15,90	0,312
23-jul-09	584	13,9	0,3	13,2	0,5	1,7	1,7	0,4	0,3	0,1	7,09	7,07	15,49	0,303
22-jul-09	562	13,9	0,3	12,2	0,6	1,6	1,4	0,4	0,4	0,0	6,70	6,85	14,78	0,292
21-jul-09	559	13,9	0,3	12,8	0,7	1,5	1,5	0,4	0,4	0,0	6,50	6,84	14,64	0,282
20-jul-09	493	13,9	0,3	12,4	0,7	1,4	1,4	0,4	0,3	0,0	5,85	6,34	13,75	0,264
19-jul-09	514	13,9	0,3	11,2	0,7	1,3	1,2	0,4	0,3	0,0	5,68	6,32	13,56	0,246
18-jul-09	493	13,9	0,3	11,0	0,7	1,3	1,1	0,4	0,3	0,0	5,95	6,49	13,94	0,264

18-jul-09	474	13,9	0,3	10,5	0,7	1,3	1,0	0,3	0,2	0,7	9,80	9,02	20,47	0,499
17-jul-09	455	13,9	0,3	9,7	0,5	1,1	0,9	0,3	0,5	1,2	8,66	9,07	19,98	0,494
16-jul-09	438	13,9	0,3	9,7	0,5	1,0	0,6	0,3	0,3	1,2	8,29	8,63	19,17	0,474
15-jul-09	413	14,0	0,3	8,7	0,4	1,1	0,9	0,2	0,4	1,0	7,88	8,31	18,55	0,455
14-jul-09	393	13,9	0,3	8,4	0,4	1,1	0,8	0,3	0,4	1,2	8,83	8,89	19,75	0,495
14-jul-09	394	13,9	0,3	8,5	0,5	1,1	1,1	0,3	0,4	1,3	8,42	8,72	19,15	0,483
12-jul-09	373	13,9	0,3	8,0	0,6	1,1	1,1	0,3	0,7	1,9	8,25	8,51	18,72	0,468
11-jul-09	352	13,9	0,0	7,5	0,4	0,9	0,5	0,3	0,6	0,9	8,41	8,48	18,17	0,450
10-jul-09	332	13,9	0,0	7,0	0,6	1,1	1,1	0,2	0,3	0,9	8,07	8,23	17,84	0,436
09-jul-09	312	14,0	0,0	6,8	0,7	1,1	0,9	0,2	0,1	1,0	7,75	8,04	17,22	0,421
08-jul-09	292	14,0	0,3	6,1	0,3	0,8	0,3	0,2	0,3	1,0	7,10	7,68	16,76	0,400
02-jul-09	184	13,9	0,3	5,2	0,3	0,6	0,3	0,1	0,1	0,7	7,08	7,69	16,72	0,397
21-jun-09	815	13,7	0,3	20,9	0,8	2,8	2,7	0,4	0,4	0,4	7,31	7,64	16,81	0,397
20-jun-09	800	13,7	0,3	20,2	0,7	2,6	2,5	0,4	0,4	0,6	7,01	7,43	16,22	0,381
19-jun-09	774	13,7	0,3	18,2	0,3	2,4	2,6	0,4	0,0	0,5	6,48	6,95	15,42	0,344
18-jun-09	752	13,7	0,3	19,5	0,9	2,2	2,1	0,4	0,0	0,6	5,76	6,46	13,95	0,314
16-jun-09	727	13,7	0,3	18,6	0,9	2,4	2,2	0,4	0,4	0,0	8,98	9,23	20,53	0,518
15-jun-09	708	13,7	0,3	18,2	0,7	2,3	1,9	0,4	0,5	0,0	9,63	9,61	21,90	0,552
14-jun-09	689	13,7	0,0	17,8	0,5	2,2	1,7	0,4	0,0	1,9	9,41	9,50	21,34	0,543
13-jun-09	659	13,7	0,0	16,2	0,6	2,0	1,6	0,3	0,3	0,1	8,88	9,12	19,92	0,502
12-jun-09	639	13,7	0,3	15,8	0,4	2,0	1,6	0,3	0,3	0,1	9,06	9,48	20,31	0,522
11-jun-09	617	13,7	0,3	14,9	0,5	1,8	1,4	0,3	0,3	0,1	8,73	9,20	19,81	0,493
10-jun-09	590	13,7	0,3	15,3	0,4	2,0	1,4	0,3	0,3	0,1	8,39	8,93	19,22	0,473
09-jun-09	585	13,7	0,3	14,7	0,4	1,8	1,3	0,3	0,3	0,0	8,10	8,43	18,60	0,442
07-jun-09	547	13,7	0,3	13,8	0,4	1,7	1,2	0,2	0,3	0,0	7,68	8,30	18,00	0,423

06-jun-09	525	13,7	0,3	14,6	0,8	2,1	1,6	0,3	0,3	0,0	7,33	8,10	17,20	0,356
05-jun-09	501	13,7	0,3	13,6	0,6	1,8	1,3	0,3	0,5	0,0	5,77	6,72	14,22	0,315
03-jun-09	456	13,8	0,0	12,2	0,7	1,6	1,3	0,3	0,3	0,5	9,82	9,50	24,36	0,549
01-jun-09	409	13,9	0,0	10,8	0,7	1,5	1,1	0,3	0,2	0,0	9,15	9,31	23,25	0,528
30-may-09	384	13,6	0,3	11,9	0,6	1,6	1,1	0,3	0,2	0,0	8,51	8,69	21,37	0,483
29-may-09	365	13,8	0,0	10,9	0,8	1,6	1,0	0,3	0,2	0,2	10,75	10,08	25,60	0,577
28-may-09	337	13,8	0,0	10,1	0,6	1,5	0,8	0,4	0,3	0,2	10,39	9,88	24,37	0,547
26-may-09	302	13,7	0,0	8,9	0,1	1,3	0,9	0,2	0,4	0,3	10,36	9,90	24,11	0,553
08-may-09	784	13,7	0,3	21,8	0,9	3,8	3,5	0,0	0,4	0,3	9,87	9,62	23,16	0,521
07-may-09	762	13,6	0,3	21,3	1,4	3,6	3,1	0,5	0,4	0,3	9,52	9,44	22,41	0,501
05-may-09	700	13,7	0,3	19,4	0,5	3,1	2,0	0,1	0,4	0,2	8,37	8,80	20,41	0,423
04-may-09	694	13,7	0,3	18,6	0,3	3,0	1,3	0,1	0,4	0,2	8,11	8,55	19,64	0,400
03-may-09	672	13,7	1,0	19,0	0,5	3,0	1,6	0,1	0,4	0,2	7,70	8,30	19,11	0,377
02-may-09	648	13,7	0,3	17,7	0,5	2,7	1,3	0,1	0,3	0,1	7,02	8,07	18,00	0,344
01-may-09	528	13,7	0,3	17,0	0,5	2,6	1,1	0,0	0,2	0,0	6,81	7,72	17,41	0,331
29-abr-09	590	13,8	0,3	17,0	0,4	2,2	1,0	0,0	0,1	0,0	6,42	7,54	16,69	0,309
28-abr-09	570	13,8	0,3	16,5	0,4	2,2	1,0	0,0	0,1	0,0	6,23	7,35	15,98	0,298
27-abr-09	550	13,8	0,3	14,2	0,4	2,2	1,0	0,0	0,1	0,0	5,91	7,11	15,18	0,273
20-abr-09	418	13,7	0,3	9,9	0,4	1,8	0,4	0,0	0,1	0,0	5,64	6,50	14,20	0,252
02-abr-09	85	13,7	0,3	4,6	0,4	0,9	0,2	0,0	0,1	0,0	5,30	6,38	13,55	0,223
29-mar-09	37	13,9	0,3	3,9	0,0	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	4,60	5,70	12,10	0,185
27-mar-09	921	13,7	0,3	23,9	1,6	5,2	2,8	0,4	0,2	0,0	6,00	9,90	13,60	0,235
25-mar-09	878	13,7	0,3	20,2	1,4	4,3	2,0	0,2	0,2	0,0	9,69	9,57	12,65	0,206
23-mar-09	831	13,7	0,5	18,9	1,4	4,3	2,0	0,2	0,1	0,0	9,03	9,20	20,88	0,540
21-mar-09	801	13,7	0,4	20,9	1,4	5,1	2,0	0,4	0,2	0,0	8,44	8,85	19,90	0,510

20-mar-09	778	13,7	0,3	20,6	1,4	4,6	1,9	0,3	0,2	0,0	8,40	8,30	19,50	0,493
19-mar-09	766	13,8	0,3	19,3	1,3	4,4	1,8	0,3	0,2	0,0	8,07	8,31	18,66	0,468
18-mar-09	755	13,7	0,3	19,3	1,3	4,4	1,8	0,3	0,2	0,0	7,31	7,88	17,30	0,433
18-mar-09	734	13,8	0,3	18,2	1,3	4,0	1,8	0,3	0,1	0,0	7,04	7,29	16,68	0,412
16-mar-09	710	13,8	0,3	17,2	1,3	3,9	1,7	0,2	0,1	0,0	6,88	7,19	16,11	0,395
13-mar-09	264	13,7	0,3	17,0	1,3	3,5	1,7	0,2	0,0	0,0	5,99	6,73	14,53	0,342
12-mar-09	630	13,7	0,4	15,3	1,0	3,1	1,4	0,2	0,0	0,0	4,65	5,20	9,74	0,297
10-mar-09	603	13,7	0,3	15,6	1,3	3,0	1,6	0,2	0,0	0,0	4,97	6,00	10,68	0,340
09-mar-09	581	13,7	0,3	15,1	1,0	2,7	1,2	0,2	0,0	0,0	4,93	5,60	10,00	0,303
07-mar-09	531	13,8	0,3	12,0	1,0	2,5	0,7	0,2	0,0	0,0	4,55	5,07	8,77	0,280
06-mar-09	509	13,9	0,3	10,8	0,9	2,4	0,6	0,3	0,1	0,0	7,75	8,10	14,32	0,537
05-mar-09	487	13,9	0,3	10,4	0,9	2,3	0,6	0,2	0,1	0,0	7,71	8,00	13,97	0,525
04-mar-09	464	13,9	0,3	9,9	0,8	2,2	0,5	0,2	0,1	0,0	7,05	7,51	12,77	0,483
03-mar-09	440	13,9	0,4	9,9	0,8	2,2	0,5	0,2	0,1	0,0	6,70	7,28	12,00	0,457
01-mar-09	420	13,8	0,3	9,2	0,7	2,0	0,5	0,2	0,2	0,0	6,50	7,03	11,48	0,432
28-feb-09	390	13,8	0,3	8,3	0,6	1,8	0,4	0,0	0,2	0,0	5,72	6,54	9,11	0,379
26-feb-09	348	13,8	0,3	8,3	0,6	1,5	0,4	0,0	0,2	0,0	5,21	6,12	8,28	0,352
24-feb-09	318	13,7	0,3	8,3	0,6	1,4	0,4	0,0	0,1	0,0	4,46	5,57	6,88	0,308
22-feb-09	285	13,9	0,3	8,3	0,6	1,2	0,3	0,0	0,1	0,0	4,20	5,30	6,35	0,287
05-feb-09	619	13,5	0,3	20,2	2,0	2,8	1,3	0,3	0,2	0,0	6,99	6,83	15,87	0,436
03-feb-09	591	13,7	0,3	18,9	2,0	2,7	1,3	0,3	0,2	0,0	6,38	6,53	15,17	0,390
03-feb-09	555	13,7	0,3	17,1	2,0	2,5	1,5	0,2	0,2	0,0	6,46	6,47	15,29	0,404
01-feb-09	532	13,7	0,3	16,2	1,9	2,1	1,3	0,1	0,2	0,0	6,19	6,21	14,49	0,383
31-ene-09	509	13,7	0,3	14,9	1,4	2,0	0,6	0,3	0,2	0,0	5,76	5,90	13,45	0,350

28-ene-09	463	13,8	0,3	13,2	1,0	1,8	0,3	0,0	0,2	0,0	5,53	5,74	13,11	0,337
25-ene-09	393	13,8	0,3	9,6	0,8	1,7	0,2	0,0	0,1	0,0	6,17	6,17	14,04	0,363
22-ene-09	349	13,6	0,3	9,5	0,7	1,7	0,1	0,0	0,1	0,0	5,95	5,95	12,92	0,330
21-ene-09	319	13,5	0,3	9,0	0,7	1,7	0,1	0,0	0,1	0,0	5,33	5,69	12,33	0,314
19-ene-09	295	13,5	0,3	8,1	0,7	1,6	0,0	0,0	0,1	0,0	5,42	5,84	12,51	0,317
31-dic-08	580	13,7	0,3	17,4	1,1	5,8	0,7	0,1	0,0	0,0	6,79	6,49	15,82	0,466
29-dic-08	535	13,8	0,3	16,4	0,8	5,2	0,6	0,1	0,0	0,0	6,36	6,30	15,41	0,450
28-dic-08	513	13,8	0,3	15,6	0,8	5,0	0,6	0,1	0,0	0,0	6,50	6,27	15,45	0,451
27-dic-08	492	13,5	0,3	14,5	0,8	4,5	0,5	0,1	0,0	0,0	6,40	6,24	15,15	0,427
24-dic-08	445	13,7	0,3	13,0	0,8	4,5	0,2	0,1	0,2	0,6	5,91	6,00	14,50	0,406
22-dic-08	407	13,6	0,3	11,2	0,8	4,2	0,2	0,1	0,2	0,6	5,32	5,59	13,82	0,378
20-dic-08	358	13,8	0,3	9,9	0,8	4,1	0,2	0,1	0,2	0,6	4,77	5,50	12,77	0,334
18-dic-08	332	13,7	0,7	8,9	0,5	3,9	0,1	0,0	0,2	0,6	4,74	5,30	12,12	0,308
17-dic-08	309	13,7	0,3	8,0	0,2	3,7	0,0	0,0	0,2	0,6	4,26	4,92	11,38	0,289
16-dic-08	270	13,7	0,3	6,9	0,1	3,4	0,0	0,0	0,2	0,6	4,10	4,82	10,06	0,270
10-dic-08	155	13,8	0,3	4,8	0,0	3,4	0,0	0,0	0,3	1,4	7,13	7,11	15,68	0,462
07-dic-08	89	13,7	0,3	4,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,2	0,9	6,90	7,05	14,99	0,433
06-dic-08	71	13,8	0,3	3,9	0,0	3,2	0,0	0,0	0,2	0,9	6,96	7,24	15,44	0,444
04-dic-08	30	14,0	0,8	3,2	0,0	2,7	0,0	0,0	0,2	0,8	6,68	7,06	14,90	0,423
01-dic-08	545	13,5	0,3	18,5	1,5	23,1	0,4	0,2	0,3	0,6	6,33	6,72	14,25	0,389
30-nov-08	525	13,6	0,3	18,1	1,4	22,3	0,3	0,2	0,3	0,7	5,80	6,37	13,30	0,361
29-nov-08	506	13,6	0,3	16,6	1,4	21,9	0,2	0,1	0,3	0,9	5,52	6,06	12,52	0,336
27-nov-08	479	13,6	0,3	14,9	1,3	21,8	0,2	0,1	0,3	0,9	5,20	5,85	12,09	0,318
26-nov-08	433	13,6	0,3	13,4	1,0	21,8	0,2	0,0	0,3	0,8	4,87	5,39	11,38	0,296

25-nov-08	421	13,6	0,3	12,9	1,0	21,6	0,2	0,0	0,2	0,9	5,50	5,95	12,68	0,324
24-nov-08	402	13,5	0,3	13,8	1,1	23,1	0,7	0,0	0,2	0,9	5,06	5,71	11,79	0,310
22-nov-08	360	13,5	0,3	12,5	0,8	22,9	0,6	0,0	0,2	0,8	4,62	5,50	11,37	0,290
21-nov-08	343	13,6	0,3	12,4	0,6	22,7	0,5	0,0	0,1	0,7	4,36	5,18	10,72	0,267
20-nov-08	325	13,5	0,3	12,7	0,6	26,4	0,6	0,0	0,1	0,7	4,16	5,13	10,47	0,262
19-nov-08	312	13,5	0,3	11,8	0,4	25,3	0,3	0,0	0,1	0,7	4,06	5,00	10,09	0,250
13-nov-08	182	13,5	0,3	6,8	0,2	23,7	0,0	0,0	0,1	0,7	3,59	4,74	9,56	0,231
10-nov-08	120	13,7	0,3	5,3	0,0	20,6	0,0	0,0	0,0	0,6	3,59	4,61	9,41	0,221
01-nov-08	429	13,7	0,3	17,8	0,9	88,3	0,6	0,4	0,1	0,6	4,05	5,00	10,00	0,246
01-nov-08	435	13,6	0,3	17,6	0,9	86,1	0,6	0,4	0,1	0,2	3,65	4,30	8,73	0,205
31-oct-08	414	13,7	0,3	16,6	0,9	81,0	0,6	0,4	0,1	0,0	2,10	3,31	6,94	0,117
30-oct-08	394	13,6	0,3	15,3	0,9	72,1	0,5	0,3	0,2	0,3	4,10	5,76	11,11	0,296
29-oct-08	374	13,7	0,3	13,5	0,3	69,5	0,5	0,2	0,2	1,1	8,27	8,31	19,18	0,497
28-oct-08	332	13,7	0,3	12,3	0,3	68,9	0,3	0,2	0,1	0,9	7,87	7,66	18,15	0,454
26-oct-08	308	13,7	0,3	11,5	0,3	68,4	0,2	0,1	0,1	1,0	8,39	8,10	18,94	0,471
25-oct-08	288	13,7	0,3	11,2	0,4	66,5	0,2	0,1	0,2	0,9	7,13	7,43	16,05	0,380
24-oct-08	270	13,8	0,3	10,3	0,2	66,3	0,1	0,1	0,3	0,9	6,54	6,97	14,94	0,338
17-oct-08	136	13,9	0,3	6,1	0,0	63,5	0,0	0,0	0,4	0,7	5,64	6,21	12,99	0,279
12-oct-08	37	14,0	0,3	4,4	0,0	57,1	0,0	0,0	0,1	0,7	5,88	6,20	14,67	0,295
09-oct-08	585	13,8	0,7	18,4	0,6	101,2	0,6	0,5	1,2	3,6	7,12	7,63	14,91	0,395
08-oct-08	564	13,6	0,3	16,9	0,5	49,7	0,6	0,4	1,4	3,5	7,08	7,49	14,86	0,389
06-oct-08	535	13,6	0,3	16,6	0,4	24,0	0,6	0,4	0,3	2,3	6,96	7,24	14,50	0,374
05-oct-08	513	13,5	0,3	14,7	0,4	9,5	0,6	0,4	0,5	2,0	6,74	7,21	14,22	0,352
04-oct-08	487	13,6	0,3	13,3	0,4	6,6	0,6	0,4	0,5	1,9	6,52	7,34	13,85	0,341

03-oct-08	463	13,6	0,3	13,0	0,0	5,9	0,6	0,4	0,4	1,6	6,37	7,14	13,70	0,326
01-oct-08	437	13,6	0,3	12,9	0,8	5,9	0,6	0,3	0,2	1,9	5,49	6,50	12,64	0,290
30-sep-08	414	13,7	0,3	12,0	0,8	5,7	0,6	0,3	0,5	1,6	5,37	6,56	11,95	0,280
29-sep-08	394	13,7	0,3	11,4	0,8	5,3	0,5	0,3	0,2	1,7	5,16	6,45	11,52	0,267
28-sep-08	372	13,7	0,3	11,2	0,7	5,6	0,5	0,3	0,1	1,1	4,40	5,52	10,58	0,238
27-sep-08	354	13,7	0,3	10,4	0,6	5,4	0,5	0,3	0,4	10,7	7,12	7,58	14,24	0,377
26-sep-08	337	13,7	0,3	9,9	0,6	5,3	0,3	0,3	0,5	10,5	6,98	7,54	14,20	0,356
25-sep-08	318	13,7	0,4	8,1	0,5	4,6	0,3	0,1	0,6	10,5	6,89	7,55	13,97	0,336
25-sep-08	311	13,7	0,4	8,1	0,5	4,5	0,3	0,1	0,5	10,5	6,41	6,99	13,02	0,320
24-sep-08	297	13,7	0,4	7,6	0,5	4,5	0,3	0,1	0,0	8,9	6,05	6,82	12,40	0,306
23-sep-08	277	13,7	0,4	7,1	0,5	4,4	0,3	0,1	0,7	10,0	5,96	6,70	12,32	0,294
22-sep-08	256	13,7	0,3	6,9	0,3	4,4	0,2	0,1	0,6	10,0	6,26	6,84	12,11	0,288
15-sep-08	105	13,8	0,3	2,7	0,1	3,0	0,1	0,1	1,2	11,5	5,70	6,39	11,67	0,250

ANEXO 04

LIMITES DE DESGASTE PARA EL ACEITE DELVAC 5W-40

DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE DESGASTES PARA EL DELVAC 5W-40

Determinación de Límites de Desgaste de Fe para el Delvac 5W-40 (Actualizado a Octubre del 2009)						
Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2008 - 2009	754	385	11,8	5,6	23,1	28,7

Determinación de Límites de Desgaste de Al para el Delvac 5W-40 (Actualizado a Octubre del 2009)						
Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2008 - 2009	754	385	0,7	0,5	1,7	2,2

Determinación de Límites de Desgaste de Pb para el Delvac 5W-40 (Actualizado a Octubre del 2009)						
Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2008 - 2009	754	385	1,0	0,8	2,6	3,5

Determinación de Límites de Oxidación para el Delvac 5W-40 (Actualizado a Octubre del 2009)						
Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2008 - 2009	754	385	5,6	2,5	10,6	13,1

Determinación de Límites de Hollín para el Delvac 5W-40 (Actualizado a Octubre del 2009)						
Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2008 - 2009	754	385	0,3	0,2	0,6	0,8

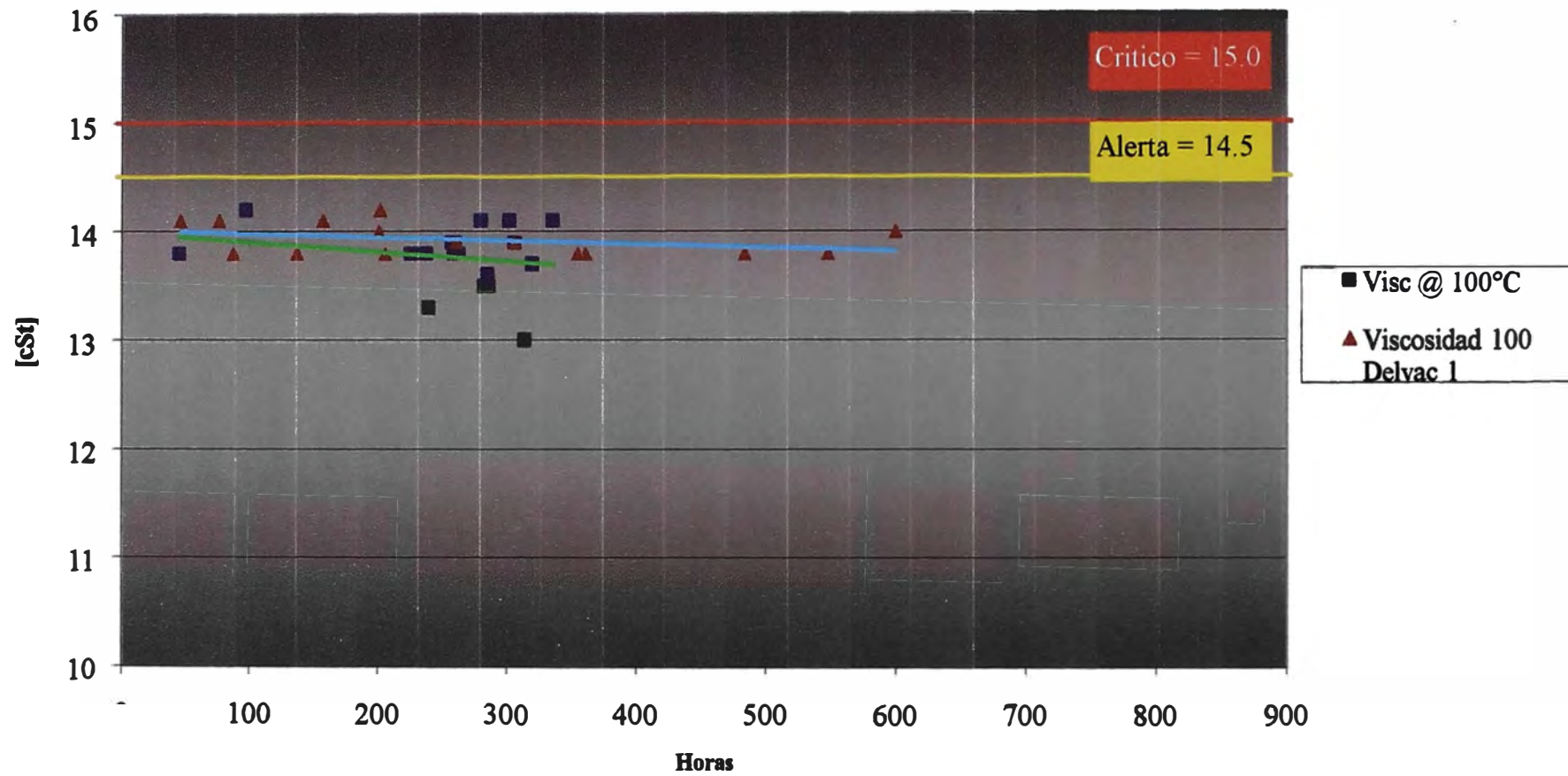
Determinación de Límites de Viscosidad para el Delvac 5W-40 (Actualizado a Octubre del 2009)						
Año	Número de Muestras	Horas Promedio	Nivel de Desgaste (ppm)		Límites (ppm)	
			Promedio	Desviación Estándar	Precaución (2)	Crítico (3)
2008 - 2009	754	385	13,8	0,3	14,4	14,7

- (1) Número de muestras de Delvac 5W-40 registradas en el programa Monitor
 (2) Límite de Precaución = Promedio + 2 x Desviación Estándar
 (3) Límite Crítico = Promedio + 3 x Desviación Estándar

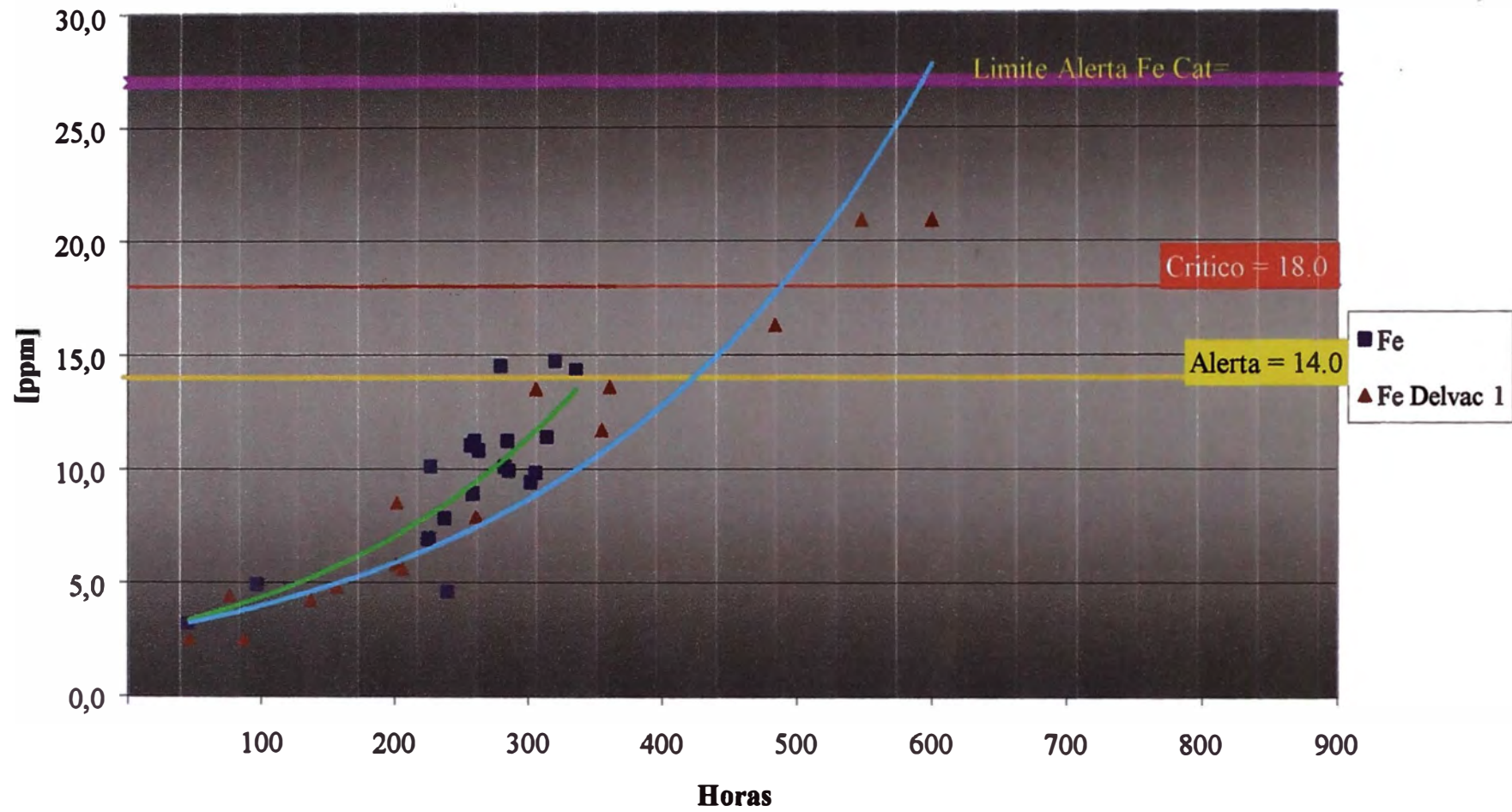
ANEXO 05

**GRÁFICAS DE METALES DE DESGASTE, OXIDACIÓN, VISCOSIDAD DEL
COMPONENTE DE MOTOR HTENG024-5, UTILIZANDO ACEITE MX Y
ACEITE DELVAC 5W-40**

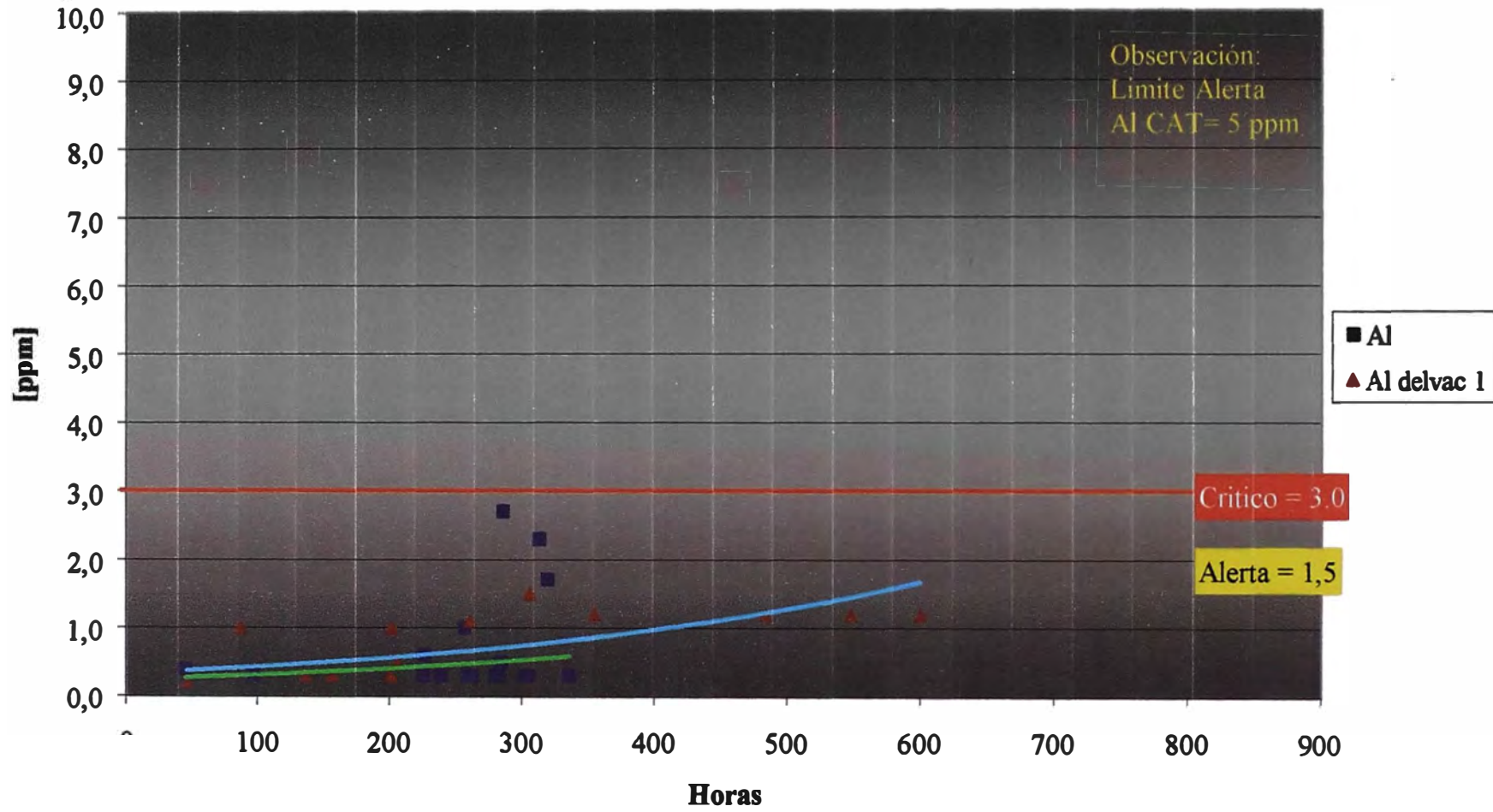
Viscosidad @ 100°C



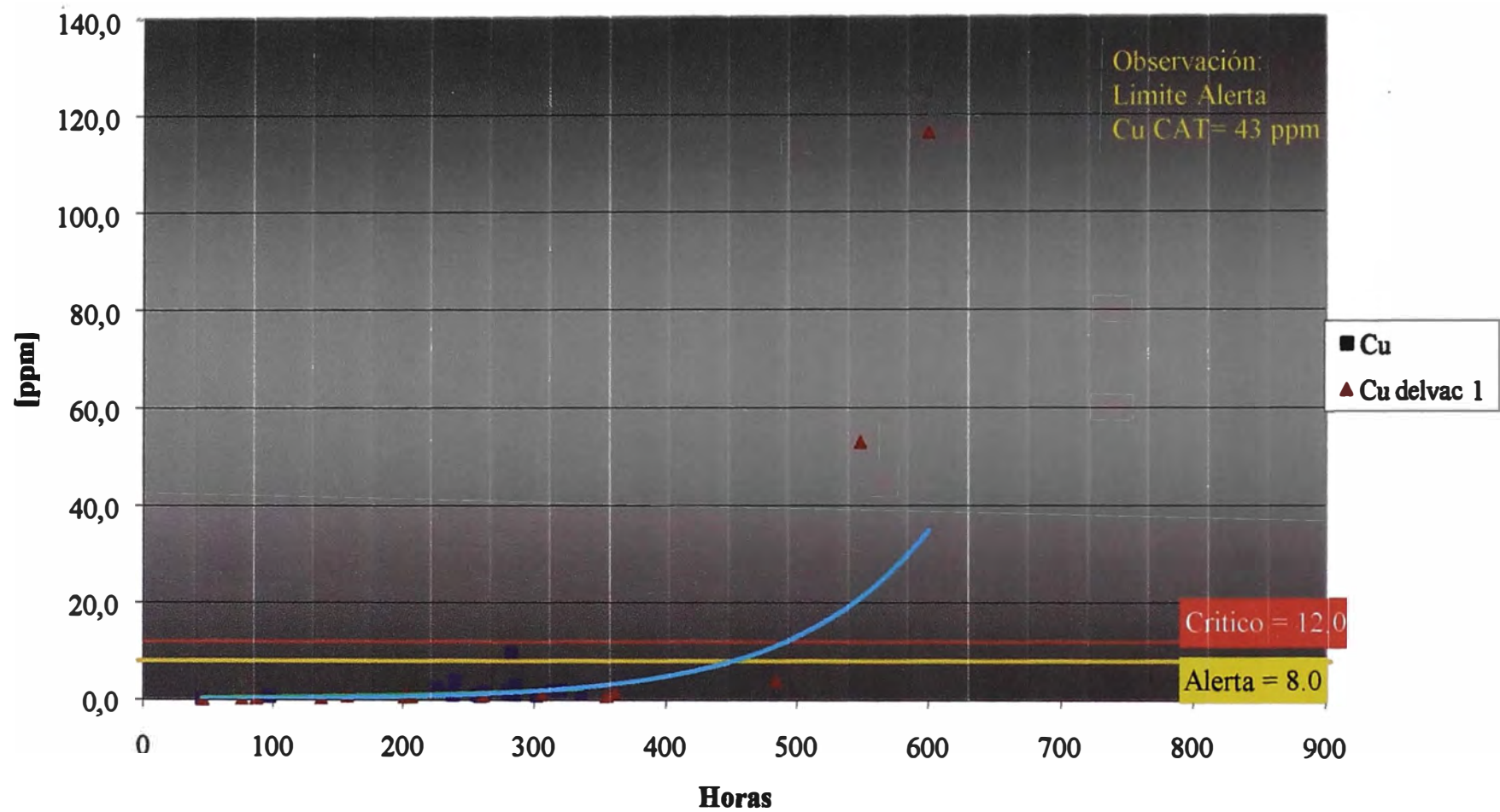
Hierro



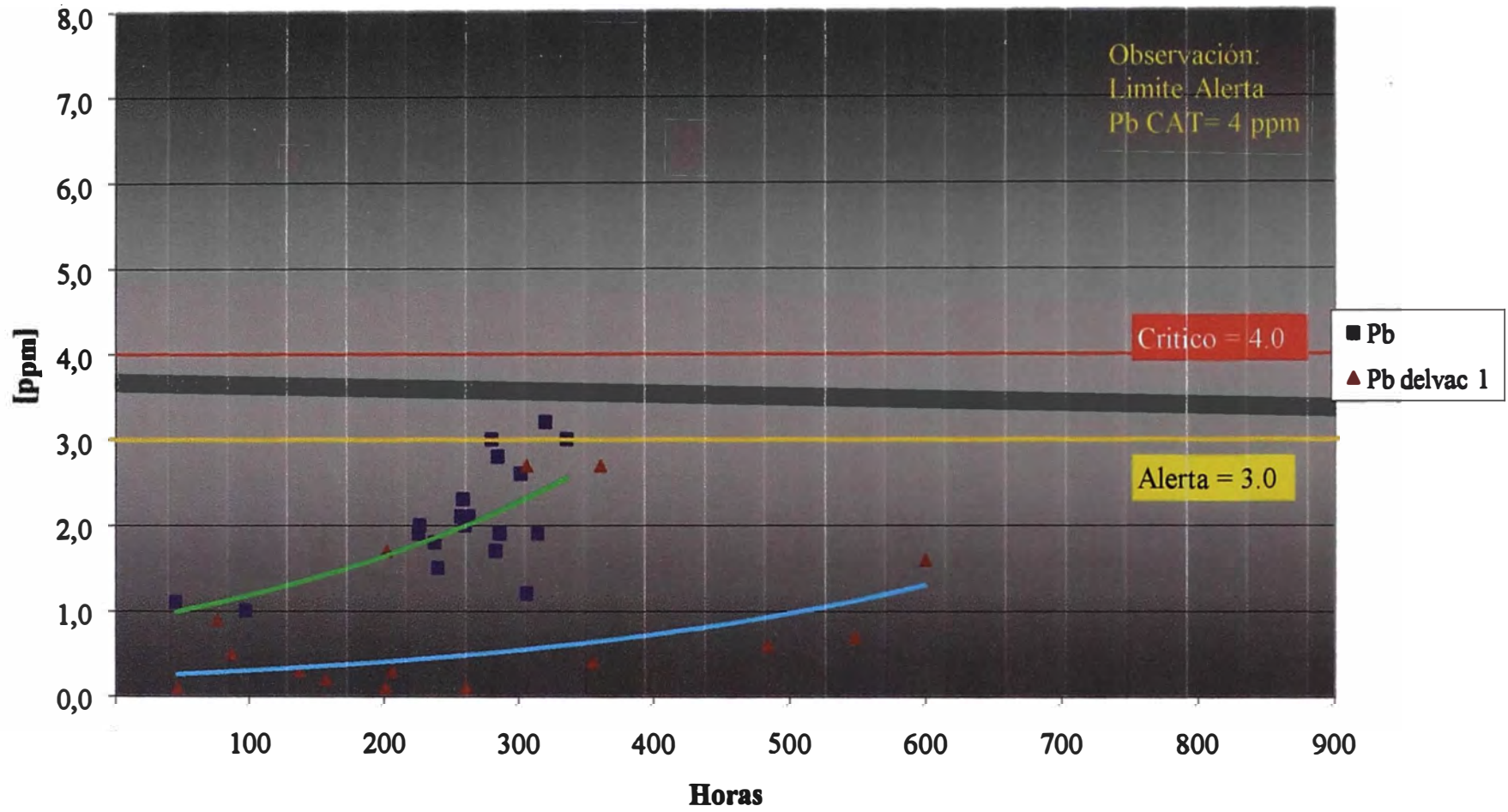
Aluminio



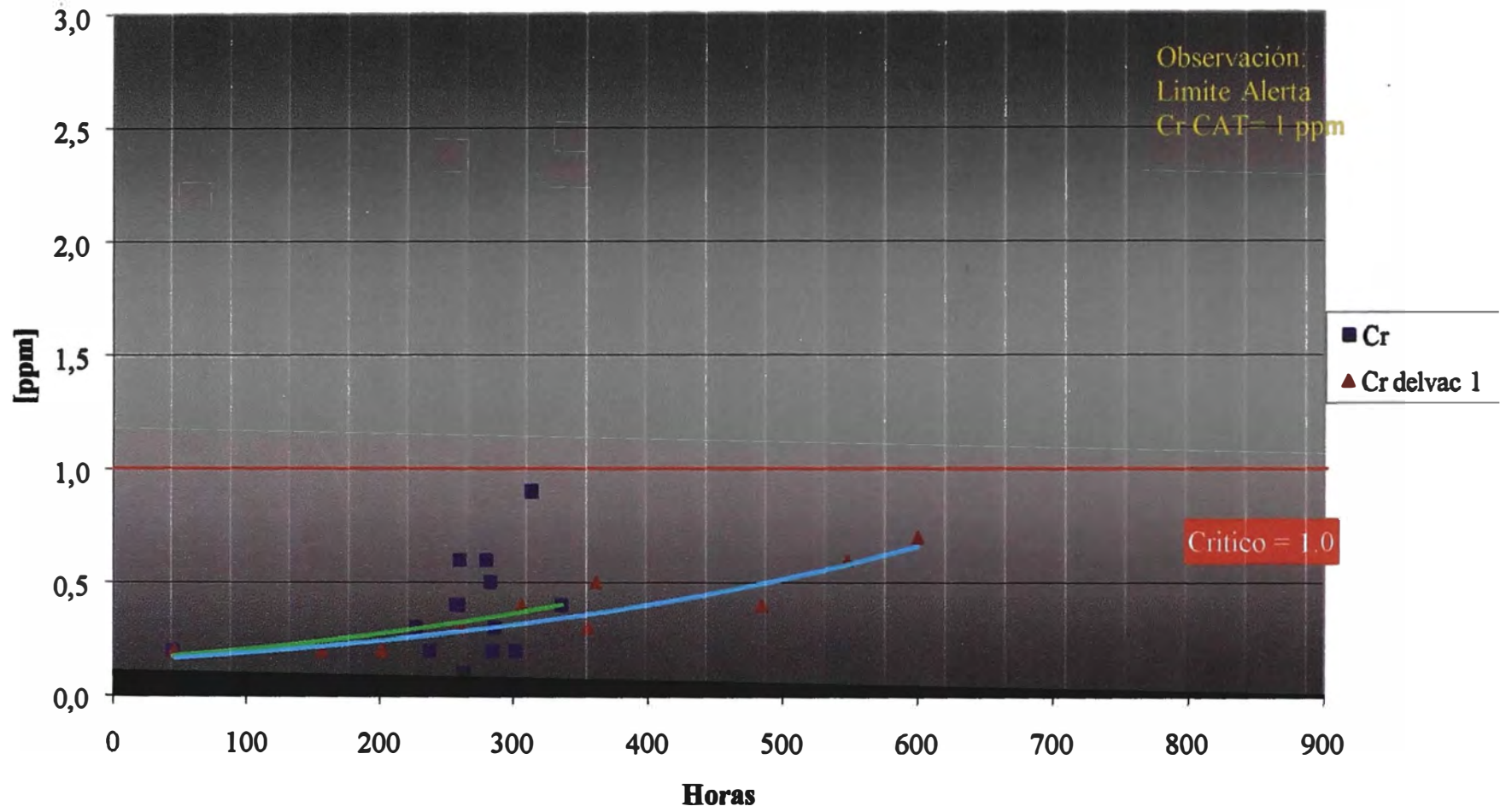
Cobre



Plomo



Cromo



Oxidación

