

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



## “IMPLEMENTACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE UN EFECTIVO PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES LUBRICANTES PARA EL MANTENIMIENTO DE MAQUINARIAS MINERO INDUSTRIALES ”

### TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

FÉLIX DAVID VICUÑA RUÍZ

LIMA – PERÚ

AGOSTO- 2009

**DEDICATORIA:**

A TODOS AQUELLOS QUE QUIERAN  
FORMARSE EN EL CAMPO DEL  
MONITOREO DE CONDICIÓN  
USANDO EL ANÁLISIS DE FLUIDOS  
LUBRICANTES.

### **AGRADECIMIENTOS**

A TODOS AQUELLOS QUE A TRAVÉS DE SU APOYO HAN COLABORADO EN LA CULMINACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO, EN ESPECIAL A MI ESPOSA POR SU INCANSABLE APOYO.

A MIS PADRES QUIEN GRACIAS A SU APOYO Y PERSEVERANCIA ME FORMARON COMO PROFESIONAL.

## **PENSAMIENTOS**

No pueden resolverse "los problemas significantes que nosotros enfrentamos hoy con el mismo nivel de pensar en que nosotros estábamos cuando nosotros los creamos."

***Albert Einstein***

Las únicas cosas que se desarrollan por si solas en una organización son el desorden, la fricción y el mal desempeño.

***Peter F. Drucker***

Las tecnologías cambian, los productos cambian, pero algunas veces las prácticas no cambian con el tiempo.

***Adaptado de: Steven D. Anderson***

## ÍNDICE ESPECÍFICO

<b>DEDICATORIA</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>III</b>
<b>PENSAMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XVI</b>
<b>Justificación y Marco Teórico</b>	<b>XVII</b>
<b>Objetivos</b>	<b>XIX</b>
<b>CAPITULO I: CONOCIMIENTOS GENERALES.</b>	<b>20</b>
<b>1.1: Tipos de mantenimiento industrial.</b>	<b>20</b>
1.1.1- La lubricación en el mantenimiento.	20
1.1.2. Tipos de mantenimiento: Reactivo, Preventivo, Predictivo, Total Productivo (TPM), mantenimiento Proactivo.	20
1.1.3 Concepto general de Falla.	23
1.1.4 Tasa de Falla.	23
<b>1.2- Principales Indicadores de Gestión del Mantenimiento.</b>	<b>24</b>
1.2.1 Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF): Mean Time Between Failures (MTBF).	24
1.2.2 Tiempo Promedio para Fallar (TPPF).	24
1.2.3 Tiempo Promedio para Reparar (TPPR).	25
1.2.4 Disponibilidad.	25
1.2.5 Utilización.	25
1.2.6 Confiabilidad.	25
<b>1.3- Conceptos de Análisis de aceites.</b>	<b>26</b>
1.3.1 Revisión de las bases del Análisis de Aceites.	26
1.3.2 Descripción de cada uno de las pruebas más usadas en Análisis de Aceites.	28
<b>1.4- Los Aceites Lubricantes.</b>	<b>35</b>
1.4.1 Aceites Lubricantes industriales.	35
1.4.2 Clasificación ISO de los aceites Industriales.	35
1.4.3 Funciones de los aceites Lubricantes.	35

1.4.4 Aceites minerales.	37
1.4.4.1 Clasificación de las bases.	39
1.4.5 Aceites sintéticos.	39
1.4.5.1 Propiedades de los aceites sintéticos.	40
1.4.6 Propiedades físicas del aceite básico.	43
1.4.7 Formulación de los aceites lubricantes.	44
1.4.8 Los aditivos usados en la formulación de lubricantes.	45
1.4.9 Clasificación de los aditivos.	46
1.4.9.1 Aditivos polares. Antioxidantes, Inhibidores de corrosión, Dispersantes, detergentes, agentes antiespumantes, aditivos antidesgaste y modificadores de fricción.	
1.4.9.2 Tipos de películas lubricantes.	51
<b>1.5- Categorías de Análisis de Aceite.</b>	<b>54</b>
1.5.1- Propiedades de los fluidos. Propiedades físicas y químicas del aceite usado.	54
1.5.2- Proceso de degradación del aceite.	54
1.5.2.1- Factores que intervienen en la degradación de los lubricantes industriales.	55
1.5.3- Contaminación de los fluidos. Contaminantes destructivos del fluido y de la maquinaria.	57
1.5.4- Partículas de desgaste. Presencia e identificación de partículas de desgaste.	58
1.5.4.1- Código ISO de contaminación de sólidos.	61
<b>1.6- Principales Componentes Mecánicos Objeto de Lubricación.</b>	<b>64</b>
1.6.1 Cojinetes y engranajes.	64
1.6.2 Sistemas Hidráulicos.	66
1.6.2.1- Contaminación en los Sistemas Hidráulicos.	67
<b>1.7- Aspectos Básicos de Filtración de Lubricantes.</b>	<b>68</b>
1.7.1 Factores que Afectan el Desempeño de los Filtros.	68
1.7.2 Medición del Desempeño de los filtros.	68
1.7.2.1 Tasa Nominal.	68
1.7.2.2 Tasa Absoluta.	69
1.7.2.3 Tasa Beta.	69
1.7.3 Selección de Filtros.	72
1.7.3.1 Eficiencia Absoluta de Remoción de Partículas.	72
1.7.3.2 Capacidad de Retención de Partículas. (DHC).	72
1.7.3.3 Caída de presión del elemento (filtro) a una eficiencia absoluta específica.	73
1.7.4 Balance de Partículas.	73
1.7.5 Reacción en Cadena del Desgaste.	76
1.7.6 Sistemas de Filtración de Alta Eficiencia.	76
1.7.7 Integridad de Filtros según la Media Filtrante.	78
<b>1.8- Control de la Contaminación en los Aceites Lubricantes.</b>	<b>79</b>
1.8.1 Fases del Control de la Contaminación.	79
1.8.1.1 Fase de Transición.	79

1.8.1.2 Formación y Capacitación.	79
1.8.1.3 Selección de Maquinarias con las que se iniciará el Programa de Control de la Contaminación.	79
1.8.2 Implementación del Control de la Contaminación.	80
1.8.2.1 Establecer objetivos para los niveles de limpieza de contaminantes.	80
1.8.2.2 Determinar las Acciones a tomar para lograr los Objetivos de Limpieza.	80
1.8.2.3 Medir los Niveles de Limpieza Códigos ISO de los lubricantes.	81
<b>1.9- Interpretación de Resultados de Análisis de Aceite.</b>	<b>81</b>
1.9.1 Pautas básicas para interpretar los resultados de análisis.	81
<b>CAPITULO II: DISEÑO DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITE.</b>	<b>84</b>
<b>2.1- Etapa Inicial del Programa de Análisis de Aceite.</b>	<b>87</b>
2.1.1 Definición de los objetivos de Confiabilidad para el Programa de Análisis de Aceite.	87
2.1.2 Selección de los equipos mecánicos críticos y de sus componentes a ser considerados en el Programa de Análisis de Aceites.	87
2.1.2.1 Importancia en el Proceso productivo.	87
2.1.2.2 Costo por Tiempo de Parada.	88
2.1.2.3 Riesgos Asociados a la Seguridad.	90
2.1.3 Elección de las pruebas de análisis de aceite según los equipos críticos.	92
2.1.4 Configuración del laboratorio de análisis.	93
2.1.5 Programación del Muestreo a los Equipos Críticos Considerados.	93
2.1.6 Capacitación al personal involucrado de mantenimiento en técnicas de muestreo.	96
2.1.7 Capacitación para una buena interpretación de resultados a las personas clave que reciben los resultados de análisis.	99
<b>2.2- Implementación del Programa de Análisis de Aceite.</b>	<b>100</b>
2.2.1- Inspección de las prácticas de lubricación y manejo de lubricantes.	
2.2.2- Estrategias Para el Control de la Contaminación.	103
2.2.2.1 Estrategia de Exclusión.	104
2.2.2.2 Estrategia de Remoción.	107
• Asentamiento de contaminantes.	108
• Remoción de Agua.	108
• Uso de Filtros Magnéticos.	109
• Localización de Filtros.	109
• Proceso de Flushing.	112
• Utilización de equipos móviles de Microfiltración.	114
• Cálculo del Tiempo de Filtración Usando un Equipo de Microfiltrado.	116
• Cálculo de la Masa Retenida por cada Filtración Usando un Equipo de Microfiltrado.	117

## VIII

• Cálculo del Tiempo de Saturación de un filtro.	119
• Utilización de equipos móviles de Dialización.	119
2.2.2.3- Ubicación de puntos de muestreo.	120
2.2.2.4- Instalación de sistemas de filtración de alta eficiencia en los equipos críticos considerados.	123
2.2.3 Establecimiento de los límites de advertencia y de metas a las pruebas de rutina de análisis de aceite para los equipos seleccionados.	123
2.2.4 Procesamiento de la información obtenida de los análisis de aceite.	128
2.2.5- Establecimiento de las interfaces con el laboratorio.	130
<b>2.3- Administración del Programa de Análisis de Aceite.</b>	<b>133</b>
2.3.1 Indicadores del Programa de Análisis de Aceites.	133
2.3.1.1 Eficiencia de la Ejecución de la Programación de Muestreo.	133
2.3.1.2 Indicadores de Criticidad del Monitoreo.	133
2.3.1.3 Indicadores de Síntomas de Falla.	133
2.3.1.4 Indicadores de Objetivos de Limpieza.	133
2.3.1.5 Relación entre los Indicadores del Programa de Análisis de Aceites y los Indicadores de Mantenimiento.	134
2.3.2 Establecimiento de tendencias estadísticas en los resultados de análisis de los equipos.	135
<b>CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES.</b>	<b>137</b>
<b>3.1- Monitoreo periódico del Programa con el fin de determinar desviaciones o ponderaciones.</b>	<b>137</b>
<b>3.2- Beneficios y Ahorros del Programa.</b>	<b>138</b>
3.2.1 Análisis Económico del Programa.	138
<b>3.3 Mejora Continua -Retroalimentación.</b>	<b>138</b>
3.3.1 Ajustar las metas y límites de los equipos.	138
3.3.2 Uso de los Resultados para tomar decisiones basadas en el Monitoreo de Condición.	139
3.3.3 Expansión del Programa.	141
3.3.4 Incorporación de otros equipos y/o otros equipos de análisis de laboratorio.	141
<b>CAPITULO IV: OTRAS CONSIDERACIONES.</b>	<b>142</b>
<b>4.1- Consideraciones Medioambientales y de Seguridad.</b>	<b>142</b>
4.1.1- Hojas de información para el manejo seguro de los lubricantes.	142
4.1.2- Protección ambiental en el manipuleo de lubricantes.	142
4.1.3- Disposición del aceite usado.	143
<b>CAPITULO V: APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROGRAMA PROPUESTO.</b>	<b>144</b>
<b>5.1 Selección de los equipos mecánicos críticos y de sus componentes a ser considerados en el programa de análisis de aceites.</b>	<b>144</b>
5.1.1 Importancia en el Proceso productivo.	144

5.1.2 Riesgos Asociados a la Seguridad.	145
<b>5.2 Selección de la Frecuencia de Muestreo.</b>	147
<b>Etapa de Implementación del Programa de Análisis de Aceite.</b>	152
<b>5.3 Objetivos de limpieza y Límites.</b>	152
<b>5.4 Inspección de las prácticas de lubricación y manejo de lubricantes.</b>	158
<b>5.5 Control de la Contaminación en los Aceites Lubricantes.</b>	158
5.5.1 Fase de Transición.	158
5.5.2 Estrategias para lograr los Objetivos de Limpieza.	158
5.5.3 Medir los Niveles de Limpieza Códigos ISO de los lubricantes.	164
<b>5.6 Pruebas de rutina y por excepción.</b>	164
<b>Etapa de Administración del Programa de Análisis de Aceite.</b>	167
<b>5.7 Revisión e Interpretación de Datos.</b>	167
5.7.1 Indicadores del Programa de Análisis de Aceites.	167
<b>5.8 Usar resultados para tomar decisiones basadas en condición.</b>	171
<b>5.9 Evaluación de la Eficacia del Programa de Análisis.</b>	172
5.9.1- Análisis Económico del Programa.	180
5.9.1.1- Inversión de Capital.	180
5.9.1.2- Distribución de Costos.	181
5.9.2- Beneficios esperados.	182
Valor Presente Neto.	187
Tasa Interna de Retorno.	187
Periodo de Recuperación.	187
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	188
<b>CAPITULO VII: GLOSARIO DE TÉRMINOS.</b>	192
<b>CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA.</b>	206

## ANEXOS

<b>Anexo A</b>	
<b>Configuración de un laboratorio para una empresa Minera.</b>	
<b>Anexo B</b>	
<b>Pruebas de Laboratorio para Análisis de Lubricantes.</b>	
<b>Anexo C</b>	
<b>Estado Situacional Inspección en Lubricación.</b>	
<b>Anexo D</b>	
<b>Ficha de evaluación de equipos para monitoreo de condición.</b>	
<b>Anexo E</b>	
<b>Formato de Registro de Equipos.</b>	
<b>Anexo F</b>	
<b>Costos de Instalación Laboratorio de Lubricantes.</b>	

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 01: El análisis de Aceites se efectúa en tres categorías.</b>	27
<b>Tabla N° 02. Pruebas para detectar Agua en el lubricante.</b>	33
<b>Tabla N° 03: Clasificación de viscosidades ISO para lubricantes industriales.</b>	36
<b>Tabla N° 04: Diferencias entre las principales bases de aceites minerales.</b>	38
<b>Tabla N° 05: Clasificación API de las bases lubricantes.</b>	39
<b>Tabla N° 06: Propiedades físicas del aceite básico mineral.</b>	44
<b>Tabla N° 07: Aditivos que presentan propiedades de polaridad.</b>	47
<b>Tabla N° 08: Aditivos que se usan en los diferentes tipos de lubricantes.</b>	50
<b>Tabla N° 09: Elementos Hallados En Aditivos Para Aceites Lubricantes.</b>	51
<b>Tabla N° 10: Código ISO para representar concentraciones de partículas.</b>	62
<b>Tabla N° 11: Comparación de Eficiencias Beta.</b>	70
<b>Tabla N° 12: Clasificación de filtros en función al tamaño de partícula.</b>	77
<b>Tabla N° 13: Lista de problemas detectados con el análisis de aceites.</b>	82
<b>Tabla N° 14: Ponderación por factor de costo relativo por falla para seleccionar equipos en función al costo por tiempo de parada.</b>	89
<b>Tabla N° 15: Cuantificación asignada a la severidad.</b>	91
<b>Tabla N° 16: Cuantificación asignada a la Probabilidad.</b>	91
<b>Tabla N° 17: Cuantificación del Riesgo por Seguridad.</b>	91
<b>Tabla N° 18: Pruebas para monitoreo de Equipos Industriales.</b>	92
<b>Tabla N° 19: Intervalos de muestreo Estándar o por defecto.</b>	95
<b>Tabla N° 20 Peso y Cantidad Aproximado de Partículas en función del Nivel de Limpieza.</b>	118
<b>Tabla N° 21: Límites Condensatorios Generales Para Motores Diesel.</b>	125
<b>Tabla N° 22: Límites Condensatorios Generales Para Sistemas Hidráulicos.</b>	126
<b>Tabla N° 23: Indicadores de Mantenimiento.</b>	134
<b>Tabla N° 24: Cursos de Acción Basado en el Monitoreo de Condición.</b>	139

<b>Tabla N° 25: Selección de Equipos según la importancia en el Proceso Productivo.</b>	145
<b>Tabla N° 26: Selección de Equipos en Función al Riesgo Asociado a la Seguridad.</b>	146
<b>Tabla N° 27: Lubricante Usado por cada componente según Equipo.</b>	146
<b>Tabla N° 28: Intervalos y Frecuencia de Muestreo.</b>	148
<b>Tabla N° 29: Cantidad de Muestras Mensuales por 4 Perforadoras.</b>	149
<b>Tabla N° 30: Cantidad de Muestras Mensuales por 3 Excavadoras Komatsu.</b>	150
<b>Tabla N° 31: Cantidad de Muestras Mensuales por 3 Excavadoras CAT.</b>	150
<b>Tabla N° 32: Cantidad de Muestras por Tipo de Equipo en un Periodo de 2000 horas.</b>	151
<b>Tabla N 33: Tabla Pívor para hallar los beneficios de ampliación de vida útil.</b>	152
<b>Tabla N° 34: Factores de Ampliación de Vida Útil según Tipo de Equipo.</b>	153
<b>Tabla N° 35: Objetivos de Limpieza de Sistemas Hidráulicos en Función de la Presión.</b>	154
<b>Tabla N° 36: Consecuencias a las Maquinarias en Función del Nivel de Limpieza.</b>	155
<b>Tabla N° 37: Límites Condensatorios de Análisis de Aceites por componente.</b>	156
<b>Tabla N° 38: Características de Filtros Hidráulicos de Baja Eficiencia de las perforadoras DM45E.</b>	161
<b>Tabla N° 39: Características de Filtros Hidráulicos de Alta Eficiencia de las perforadoras DM45E.</b>	161
<b>Tabla N° 40: Características del Filtro del Microfiltrador UM 80.</b>	163
<b>Tabla N° 41: Pruebas de Rutina y pruebas por Excepción.</b>	166
<b>Tabla N° 42: Muestreo de equipos Pesados, Flota completa Año 2008.</b>	167
<b>Tabla N° 43: Costos de operación de la perforadora DM45E-01.</b>	173
<b>Tabla N° 44: Resumen de Costos Perforadora DM45E-01.</b>	173
<b>Tabla N° 45: Ingreso Mensual por Perforadoras DM45E.</b>	175
<b>Tabla N° 46: Participación Total de las Operaciones Mineras.</b>	175
<b>Tabla N° 47: Horas de Demora Total por Perforadora.</b>	176

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 01: Pérdida de Utilidad de las Maquinarias.</b>	19
<b>Figura N° 02: Tipos de Mantenimiento en función al progreso de la falla.</b>	22
<b>Figura N° 03: Curva de la Bañera.</b>	23
<b>Figura N° 04: Relación entre Indicadores de Mantenimiento.</b>	26
<b>Figura N° 05: Viscosidad Dinámica.</b>	29
<b>Figura N° 06: Variación de la Viscosidad con la Presión.</b>	30
<b>Figura N° 07: Contador de Partículas, Laser Net Fines.</b>	34
<b>Figura N° 08: Estructuras moleculares comunes de aceites minerales.</b>	38
<b>Figura N° 09: Formulación de los aceites lubricantes.</b>	45
<b>Figura N° 10: Tensión Superficial entre líquidos de diferente polaridad.</b>	47
<b>Figura N° 11: Cómo los antioxidantes alteran la vida del aceite.</b>	48
<b>Figura N° 12: Película de aceite en los dientes de engranajes.</b>	53
<b>Figura N° 13: Partículas de desgaste en un claro dinámico.</b>	59
<b>Figura N° 14: Curva típica de evolución de tasa de fallas de un motor.</b>	59
<b>Figura N° 15: Preparación de un Ferrograma.</b>	61
<b>Figura N° 16: Forma de utilizar el código de Contaminación ISO 4406-99.</b>	63
<b>Figura N° 17: Códigos ISO de Limpieza típicos recomendados.</b>	63
<b>Figura N° 18: Ejemplo de un Cojinete.</b>	64
<b>Figura N° 19: Engranaje diseñado por Da Vinci.</b>	65
<b>Figura N° 20: Un sistema de engranajes.</b>	65
<b>Figura N° 21: Ejemplo de un Sistema Hidráulico simple.</b>	66
<b>Figura N° 22: Ejemplo de un Sistema Hidráulico típico.</b>	67
<b>Figura N° 23: Razón Beta para un sistema de filtración de 10 <math>\mu</math>m.</b>	69
<b>Figura N° 24: Eficiencia de filtración de tres diferentes filtros.</b>	71
<b>Figura N° 25: Tiempo Óptimo de Cambio de Filtro.</b>	71
<b>Figura N° 26: Esquema simplificado Multipass Test, Std. ISO 16889.</b>	73
<b>Figura N° 27: Contaminación por Partículas. Origen de contaminación de sólidos.</b>	75
<b>Figura N° 28: Cómo se genera una reacción en cadena del desgaste.</b>	76
<b>Figura N° 29: Eficiencia de un filtro Estándar vs uno de alta eficiencia.</b>	77

<b>Figura N° 30: Integridad de Filtros según la Media Filtrante.</b>	78
<b>Figura N° 31: Forma simplificada de interpretación de los resultados.</b>	83
<b>Figura N° 32: Diseño del Programa de Análisis de Aceites Lubricantes.</b>	86
<b>Figura N° 33: Calificación para selección de equipos en función a su importancia en el proceso productivo.</b>	88
<b>Figura N° 34: Intervalo de Muestreo para un aceite de motor.</b>	93
<b>Figura N° 35: Materiales de Muestreo de lubricantes.</b>	97
<b>Figura N° 36: Método de Muestreo por Bomba De Vacío.</b>	98
<b>Figura N° 37: Los tres pilares de un Programa de Gestión en Lubricación.</b>	101
<b>Figura N° 38: Envases sucios sin etiquetar y junto a otros recipientes de diferente uso.</b>	102
<b>Figura N° 39: Envases de aceite debidamente etiquetados y con surtidores independientes.</b>	102
<b>Figura N° 40: Comparación del desempeño de respiradores de tanques de lubricantes.</b>	105
<b>Figura N° 41: El ingreso de contaminantes al actuador representa el 90% de todas las partículas ingresadas al Sistema Hidráulico.</b>	106
<b>Figura N° 42: Mangueras hidráulicas debidamente tapadas.</b>	107
<b>Figura N° 43: Sistema Típico de Filtración.</b>	108
<b>Figura N° 44: Filtración en la Línea de Presión.</b>	110
<b>Figura N° 45: Filtración en las Líneas de Presión y de Retorno.</b>	111
<b>Figura N° 46: Filtración en la Línea de Retorno.</b>	111
<b>Figura N° 47: Carta de Desempeño Típica de un equipo de Filtrado.</b>	117
<b>Figura N° 48: Equipo portátil de Microfiltración.</b>	120
<b>Figura N° 49: Puntos de Muestreo con conectores rápidos.</b>	121
<b>Figura N° 50: Ubicación de Puntos de Muestreo para una perforadora DM45E.</b>	122
<b>Figura N° 51: Alarmas superiores e inferiores para la medición de viscosidad.</b>	127
<b>Figura N° 52: Partes de que consta todo Reporte de Análisis de Aceites.</b>	129
<b>Figura N° 53: Estatus del Análisis en Función al Color.</b>	129
<b>Figura N° 54: Ejemplo de un Reporte de Análisis de Aceites.</b>	130
<b>Figura N° 55: Muestra de las diversas Interfaces en Análisis de Aceites.</b>	132

<b>Figura N° 56: Tendencia Estadística del Monitoreo del Nivel de Limpieza.</b>	136
<b>Figura N° 57: Programación de Muestreos.</b>	149
<b>Figura N° 58 a: Malas Prácticas de lubricación.</b>	159
<b>Figura N° 58 b: Malas Prácticas de lubricación.</b>	160
<b>Figura N° 59: Filtros de Alta eficiencia usados en las DM45E.</b>	161
<b>Figura N° 60: Vistas del equipo de Microfiltrado UM 80.</b>	163
<b>Figura N° 61: Tanque de microfiltrado para control de contaminación.</b>	164
<b>Figura N° 62: Estadística de Muestreo Equipo Pesados.</b>	167
<b>Figura N° 63: Estadística de Muestreo por tipo de Equipo.</b>	168
<b>Figura N° 64: Indicadores de Síntomas de Falla.</b>	169
<b>Figura N° 65: Causas de falla en Equipos Pesados.</b>	170
<b>Figura N° 66: Plantilla de Reporte de Resultados de Análisis.</b>	171
<b>Figura N° 67: Distribución de gastos en perforación.</b>	174
<b>Figura N° 68: Distribución de Ingresos en la Operación Minera.</b>	176
<b>Figura N° 69: Margen de Facturación vs Programación.</b>	177
<b>Figura N° 70: Relación del Tiempo de Demora vs Tiempo Disponible.</b>	177
<b>Figura N° 71: Estimación del Factor Anual de reducción de fallas.</b>	179
<b>Figura N° 72: Beneficios de Implementar Control de la Contaminación.</b>	183
<b>Figura N° 73: Tendencia de Desgaste de Hierro en compresor DM45E-1</b>	184
<b>Figura N° 74: Tendencia de oxidación (TAN) en compresor DM45E-1.</b>	185
<b>Figura N° 75: Contaminación con silicio, compresor DM45E-1.</b>	185

## **Resumen**

La presente tesis está orientado a desarrollar un efectivo Programa de Análisis de Aceites Lubricantes que facilite a las empresas mineras e industriales una mejor utilización y gestión de sus activos lubricados a través del monitoreo de la condición usando como herramienta el Análisis de Aceites Lubricantes.

El Análisis de Aceites Lubricantes proporciona una detección de forma tal que pueda detectar en sus orígenes una falla, y monitorear el progreso de esta usando su naturaleza predictiva que ayude a decidir cuando intervenir un equipo y evitar así una falla inminente, que si no se corrigen los factores que lo originan oportunamente puede traer graves consecuencias económicas. Esto sugerirá a las empresas que no tengan un programa a hacer los esfuerzos por implementarlo y si lo tuvieran a mejorarlo. En la actualidad los programas en uso no son efectivos en su totalidad lo que conlleva a desperdiciar oportunidades de mejorar la disponibilidad de los equipos y en el peor de los casos a que estos sufran fallas catastróficas.

La aplicación del Programa ayuda a mejorar la confiabilidad del equipo y el mantenimiento mejorando la productividad.

Para realizar esto se explican los tipos de mantenimiento industrial, el concepto del análisis de aceite, las funciones de los lubricantes, luego se continúa con la explicación de las categorías del análisis de aceite como son las propiedades físicas y químicas, la contaminación de los aceites y la determinación de las partículas de desgaste presentes en el aceite. Posteriormente se hace un recorrido sobre los principios básicos de filtración de lubricantes, para continuar con las acciones que se realizan para el control de la contaminación en sistemas lubricados. Luego se muestra como se procesa toda la información recopilada para determinar la condición de los equipos. Y finalmente se explica cómo se diseña el programa de análisis de aceites su implementación, administración, monitoreo, mejora continua y su interdependencia con un laboratorio.

## INTRODUCCIÓN

### **El emergente rol del campo del análisis de aceites lubricantes dentro del sector industrial.**

En la actualidad la crisis financiera internacional se convierte en una amenaza para las economías de América latina, ya que existe el riesgo de contracción en sus actividades económicas por el menor consumo en los países desarrollados que generaron la crisis y que pueden derivar en efectos recesivos. Adicionalmente la empresas son afectadas por la competencia extranjera que hace en muchos peligrar sus operaciones. Es por ello que los directivos buscan de muchas maneras bajar los costos de producción sacando el mayor provecho de los recursos disponibles y tratando de disminuir la pérdida de utilidad de sus maquinarias. Según los estudios del Profesor E. Rabinowicz del Instituto Tecnológico de Massachussets, la pérdida de utilidad en las maquinarias se da en un 15% por obsolescencia de la maquinaria, un 15% por accidentes y un 70% por degradación de superficies. De este 70% el 20% le corresponde a la corrosión y el 50% al desgaste mecánico. Se estima que en Estados Unidos por lo menos el 6-7% del PBI<sup>o</sup> es requerido para reparar el daño causado por desgaste mecánico.

Es aquí donde se enlaza el campo del análisis de aceites lubricantes puesto que la necesidad de controlar la fricción y el desgaste permanecen fijos como un imperativo de la ingeniería<sup>1</sup>. Los fluidos lubricantes que son utilizados tanto a nivel automotriz como industrial efectúan el pesado trabajo de separar las piezas y evitar la degradación de las superficies ¿y cómo controlar esto? Pues no hay una mejor forma que a través del monitoreo periódico del estado del lubricante vía su análisis.

A través del análisis se puede anticipar la falla de una maquinaria, también puede otorgar las soluciones para controlar el progreso de una falla, aumenta el tiempo de vida de las maquinanas y aumenta el tiempo medio entre las tallas.

<sup>0</sup> Forbes Magazine EEUU: “Las diez Razones para un Plan de lubricación”

<sup>1</sup> Fitch, James C.; Análisis de Aceite para el nuevo milenio; Noria Corporation.

## **JUSTIFICACIÓN Y MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA.**

Para implementar de un efectivo Programa de Análisis de aceites primero se debe comparar los programas que actualmente en muchos casos se vienen utilizando en el ámbito industrial.

A nivel nacional existen dos tipos de empresas que ofrecen Análisis de Aceites:

- 1) Las empresas que venden lubricantes.
- 2) Las empresas que venden maquinarias.

1) En el primer caso por lo general son reconocidas empresas transnacionales que según el volumen de aceite vendido a sus clientes fijan la cantidad de muestras que son analizadas. Este servicio es denominado "gratuito", pero si se analiza conscientemente, en verdad este servicio es pagado por el cliente por cada litro de aceite comprado, de tal forma si un cliente envía a analizar muestras en mayor cantidad a lo que el proveedor del lubricante fijó con anterioridad, simplemente el servicio no podrá ser realizado, esto por supuesto que el cliente no lo sabe.

Bajo este esquema las muestras son analizadas efectuando las mínimas pruebas posibles: viscosidad, TAN, TBN, análisis espectrométrico dilución por combustible y presencia de agua. Pueden añadir según sea el caso la prueba de infrarrojo para medir la oxidación y la cantidad de hollín en las muestras de motor. Pero por lo general se obvia una prueba muy importante como la de conteo de partículas.

2) A nivel nacional sólo existe una empresa proveedora de maquinaria pesada (representante de la empresa líder mundial en venta de maquinaria para la industria de la construcción y minería) que efectúa análisis de aceites, esta empresa cuenta con buena infraestructura y realiza mayor cantidad de pruebas analíticas que las empresas de primer caso, incluyendo la prueba de conteo de partículas, pero si bien envían reportes a sus clientes indicándole el estado de condición de sus maquinarias, la información sobre los valores de los límites utilizados para determinar esta condición nunca se envía al cliente bajo un supuesto que es información confidencial. En este estado de condición esta empresa juega un doble rol de juez y parte ya que monitorea

el estado de maquinarias que ha vendido y para ello se toma la libertad de fijar sus propios límites de criticidades manejándolo unilateralmente ya que eventualmente deberá responder por garantías ante la falla de algún componente, en este caso su imparcialidad no puede ser determinada fehacientemente.

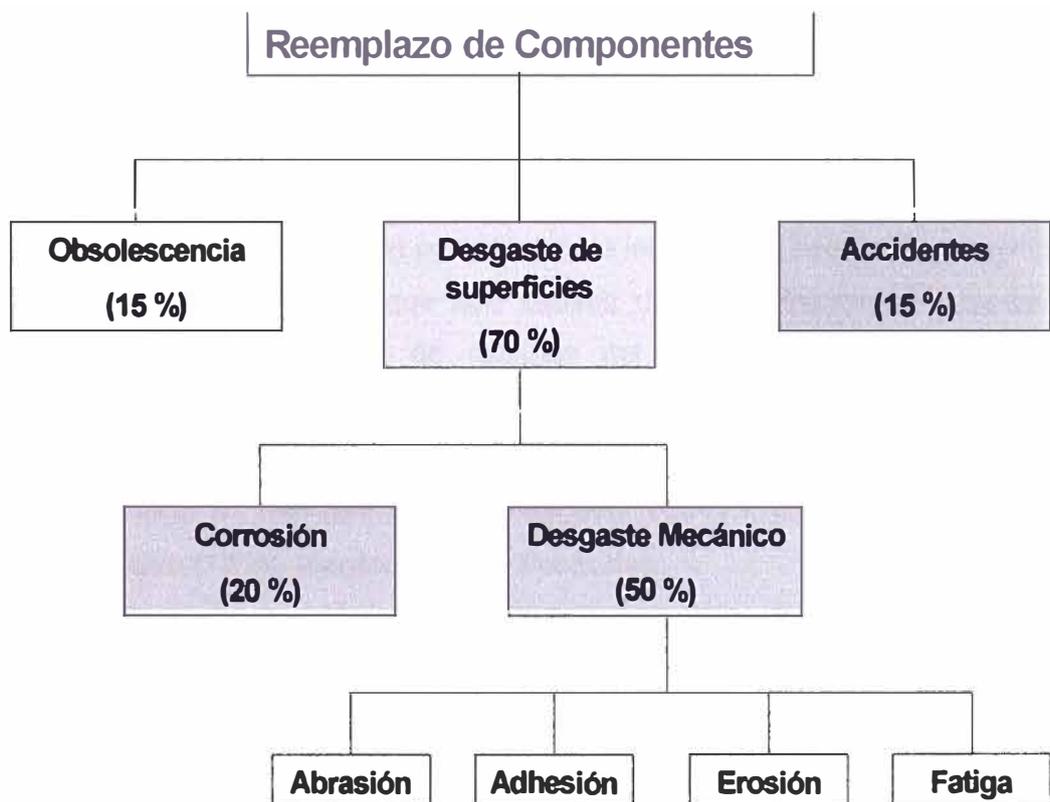
En los dos casos mencionados ambos tipos de servicio adolecen en común en asesorar a sus clientes en el diseño de un programa de análisis de aceites que esté fundamentado en sólidos objetivos de confiabilidad.

En un programa de análisis de aceite convencional, ocasionalmente se toman muestras (muchas veces, sin considerar si la muestra está bien tomada y es representativa del sistema), se empacan y envían a un laboratorio externo para que se aplique un paquete de pruebas predeterminadas y después de unos días (en ocasiones semanas) se recibe un reporte de las condiciones físicas y químicas y de desgaste de la maquinaria.

Este reporte es revisado por un personal en la planta, quien con frecuencia carece de los conocimientos para interpretar la información y las recomendaciones del laboratorio. Si el reporte informa que las condiciones son normales y que se puede continuar muestreando al intervalo normal, entonces el reporte se archiva. Si, por el contrario, indica que hay problemas, entonces por lo general se cambia el aceite y la concentración del desgaste baja. Este es el tipo de análisis de aceite que se ha venido utilizando desde hace muchos años, aparentemente aquí se resuelve el problema, pero realmente hay mayor información que no se está utilizando y que podría ser utilizada si se hubiera diseñado un mejor programa de análisis de aceites.

## OBJETIVOS

- Implementación de un programa de análisis de aceites que sea altamente efectivo.
- Demstrar cómo se pueden reducir la frecuencia de fallas en las maquinarias lubricadas.
- Demostrar cómo las empresas pueden aumentar la disponibilidad de sus maquinarias lo que equivale a aumentar el tiempo medio entre fallas (MTBF<sup>u</sup>).
- Mostrar cómo reducir los costos por conceptos de mantenimiento correctivo-preventivo y aumentar las utilidades en las empresas.



**Figura N° 01: Pérdida de Utilidad de las Maquinarias.**  
Ref. E. Rabinowicz. (MIT)

<sup>u</sup> MTBF: Medium Time Between Failure. Tiempo Medio Entre Fallas.

## **CAPITULO I: CONOCIMIENTOS GENERALES.**

### **1.1- Tipos de Mantenimiento Industrial.**

#### **1.1.1- La lubricación en el mantenimiento.**

La lubricación es una de las tareas propias del mantenimiento aplicado a equipos mecánicos tanto en el ámbito automotor como industrial cuya función desde el punto de vista del Mantenimiento es la de proteger, separar las piezas y evitar la degradación de las superficies para evitar fallas que provoquen paradas intempestivas de las maquinarias.

Los elementos que utilizan para este fin son los fluidos lubricantes, pudiendo ser de naturaleza líquida, gaseosa o sólida.

Los lubricantes tienen un rol relevante en esta tarea. El aceite lubricante tiene además de la función de proteger los principales componentes de la maquinaria, la responsabilidad de remover los contaminantes y transportarlos, para que puedan ser retenidos por el filtro (en caso de contar con él). Esto lo convierte en un vehículo de información acerca de presencia de estos contaminantes que son causas de falla (Proactivo) y también informa de la presencia de rebabas del desgaste de la maquinaria (Predictivo).

#### **1.1.2. Tipos de mantenimiento: Reactivo, Preventivo, Predictivo, Total Productivo (TPM), Mantenimiento Proactivo.**

##### **Filosofías de Mantenimiento**

**Mantenimiento Reactivo o de Falla:** Es un tipo de mantenimiento efectuado después de que la maquinaria ha fallado para regresarla a su estado de operación. Por lo general es el tipo de mantenimiento más costoso.

**Mantenimiento Preventivo:** Acciones de mantenimiento desarrolladas sobre la base de un programa fijo que involucran reparaciones de rutina y reemplazo de componentes y partes de la maquinaria. Por lo general la

programación es efectuada sobre la base de tanteos o suposiciones sobre el estado de conservación de las maquinarias.

**Mantenimiento Predictivo:** Un tipo de mantenimiento basado en condición, que enfatiza la detección temprana de una falla, El Mantenimiento Predictivo está enfocado en el monitoreo de los síntomas que causan las fallas de las maquinarias, utilizando técnicas no destructivas, como análisis de aceites, y otra técnicas complementarias como análisis de vibración, termografía y análisis de rebabas de desgaste (Ferrografía).

**Mantenimiento Proactivo:** Un tipo de Mantenimiento basado en condición que enfatiza la rutina de la detección y corrección de las condiciones de causas de falla que de otra manera podrían convertirse en una falla. Una causa de falla como la alta contaminación de lubricante es tal vez la más crítica.

**Mantenimiento Productivo Total (TPM):** Mantenimiento Productivo Total es la traducción de TPM (Total Productive Maintenance). El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de "Mantenimiento Preventivo" creado en la industria de los Estados Unidos.

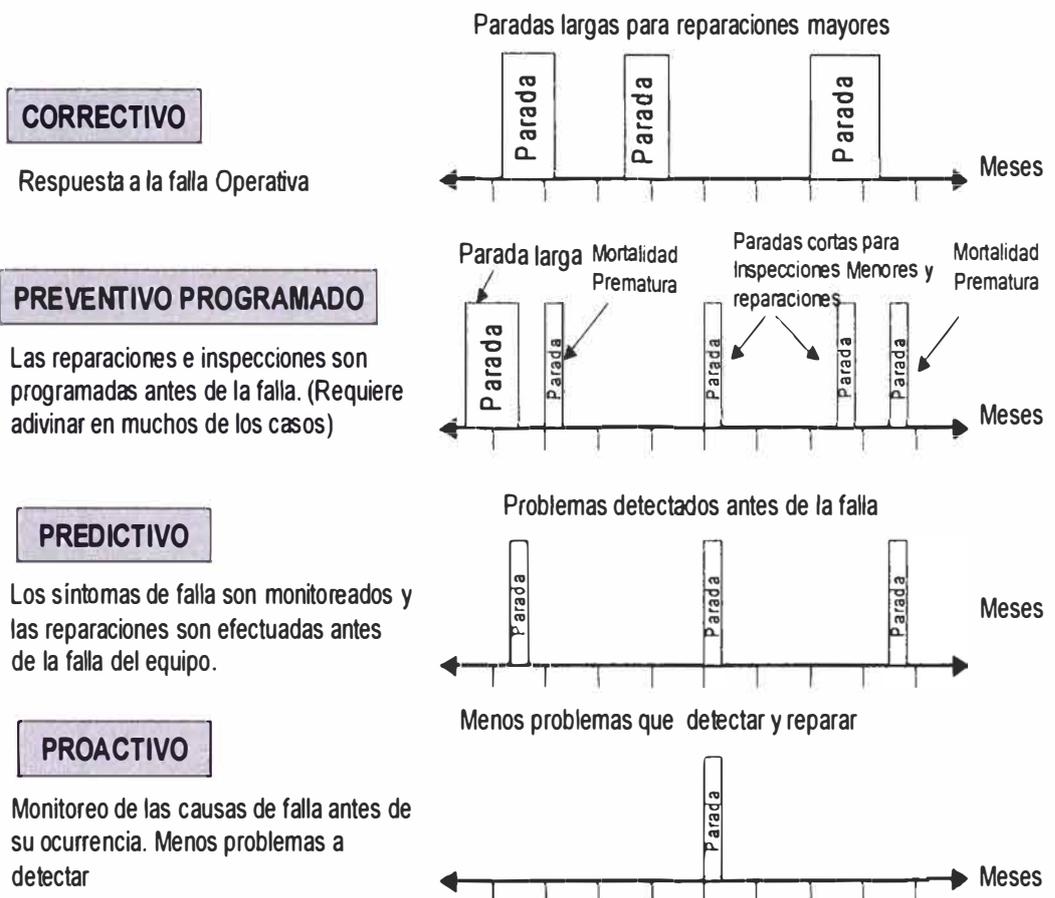
El TPM es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales.

El JIPM<sup>i</sup> define el TPM como un sistema orientado a lograr:  
Cero accidentes, cero defectos y cero averías.

<sup>i</sup> JIPM, Japan Institute Productive Maintenance

Se puede resumir que el Mantenimiento Productivo Total puede englobar a las anteriores filosofías de mantenimiento sean preventivas, predictivas o proactivas, su diferencia fundamental se basa en el enfoque cultural particular ya que el TPM tiene un corte oriental – japonés y las otras son de corte occidental, pero que pueden convertirse en subsistemas del TPM, o en todo caso pueden actuar de forma sinérgica con estas u otras estrategias o filosofías de mantenimiento.

## Estrategias de Mantenimiento en Función de las Fallas



**Figura N° 02: Tipos de Mantenimiento en función al progreso de la falla.**  
Ref. James C. Fitch. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

Para la elaboración de la presente tesis se toma como línea de base a los enfoques predictivo y proactivo, pero con mayor preferencia a este último por ser el que mejores beneficios proporciona a las empresas.

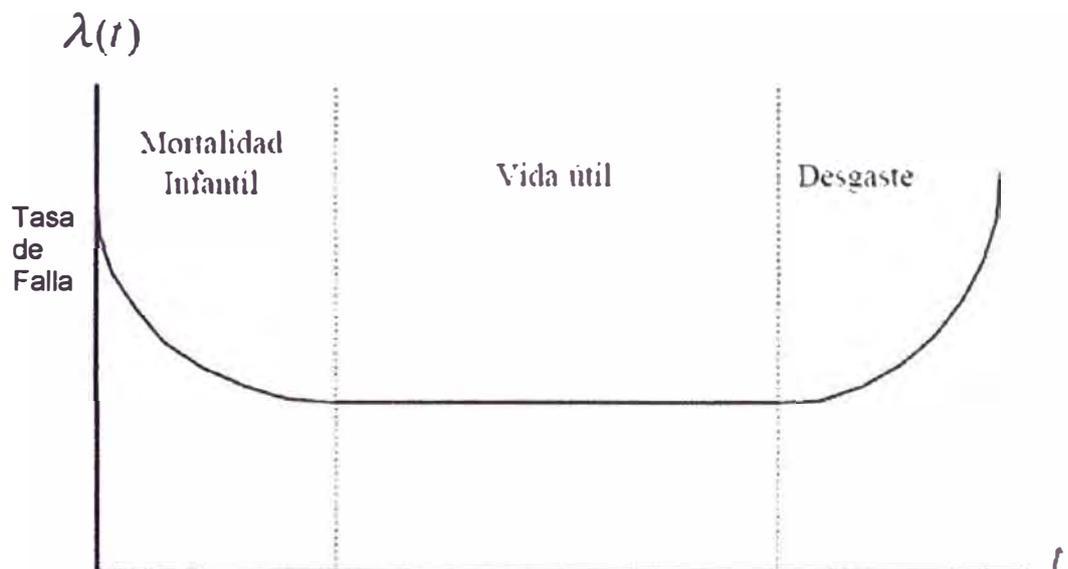
### 1.1.3 Concepto general de Falla

Es un suceso después del cual el sistema (elemento, componente o pieza) deja de cumplir (total o parcialmente) sus funciones. La falla es la alteración de la capacidad de trabajo del componente o sistema.

La falla catastrófica conduce a la alteración de la capacidad de trabajo. A este tipo de falla corresponden la ruptura y el cortocircuito; las fracturas, deformaciones y atascamiento de las piezas mecánicas, etc. Las fallas funcionales son fallas parciales que conllevan a una degradación de la capacidad de trabajo, pero no a su interrupción total.

### 1.1.4 Tasa de Falla

**Curva de la bañera<sup>2</sup>** : La función de tasa de falla por su forma característica es conocida como "curva de la bañera" y expresa los tres períodos típicos de un equipo: mortalidad infantil, vida útil y desgaste, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura N° 03: Curva de la Bañera**

Ref. Mosquera, Genaro, Estimación de parámetros de confiabilidad y Mantenibilidad

**Mortalidad infantil** es el período al inicio de la operación, donde con frecuencia ocurren fallas prematuras debidas a defectos no detectados,

<sup>2</sup> Mosquera, Genaro; 2000; Estimación de parámetros de confiabilidad y Mantenibilidad en Sistemas Industriales; Centro de Altos Estudios Gerenciales; Caracas, Venezuela.

defectos de diseño no corregidos, errores en la fabricación y el montaje. En este período la tasa de falla es decreciente con el tiempo. También se conoce con el nombre de “período de rodaje”, “período infantil” o “período de asentamiento”.

**Vida útil** es el segundo intervalo de la gráfica donde la tasa de fallas es constante, lo que indica que las fallas son totalmente aleatorias y no depende del tiempo transcurrido desde la última falla.

**Desgaste** es el último intervalo de la curva, donde la tasa de falla aumenta sostenidamente porque los elementos del equipo sufren un proceso de deterioro físico debido al roce mecánico u otras consideraciones. En determinado momento, los costos de mantenimiento e indisponibilidad son tan elevados que el equipo deberá sustituirse.

## **1.2 Principales Indicadores de Gestión del Mantenimiento.<sup>3</sup>**

Los indicadores de Gestión del Mantenimiento proporciona a los directivos los instrumentos que necesitan para navegar hacia un éxito competitivo futuro. Hoy, las organizaciones están compitiendo en entornos complejos y por lo tanto, es vital que tengan una exacta comprensión de sus objetivos y de los métodos que han de utilizar para alcanzarlos.

Los indicadores en el negocio de mantenimiento deben permitir por un lado identificar cuales son las estrategias que se deben seguir para alcanzar la visión del negocio en una empresa (un alto desempeño), y por otro lado expresar dichas estrategias en objetivos específicos cuyo logro se pueda medir a través de un conjunto de indicadores del negocio.

### **1.2.1 Tiempo Medio Entre Fallas: Mean Time Between Failures (MTBF)**

El tiempo promedio entre fallas indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla, es decir es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “Falla”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo.

### **1.2.2 Tiempo Promedio para Fallar: Mean Time To Failure (MTTF):**

---

<sup>3</sup> Ipeman. Instituto Peruano de Mantenimiento. Revista Mantenimiento. Edición 2006.

Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar un equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado, éste constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo”.

### **1.2.3 Tiempo Promedio para Reparar: Mean Time To Repair (MTTR):**

Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por una falla, dentro de un período de tiempo determinado.

### **1.2.4- Disponibilidad**

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

$$\text{Disponibilidad}(Dmc) = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \dots (1)$$

### **1.2.5- Utilización:**

La utilización, también llamada Factor de Servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un periodo determinado.

### **1.2.6- Confiabilidad**

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado. Dicho de otra forma, la confiabilidad es la propiedad del sistema de mantenerse sin experimentar un suceso de falla durante el tiempo y las condiciones de explotación establecidos.<sup>4</sup>

El estudio de confiabilidad es el estudio de fallas de un equipo o componente. Se relaciona como el exponencial negativo de la relación entre el tiempo de operación y el tiempo medio entre fallas (MTBF).

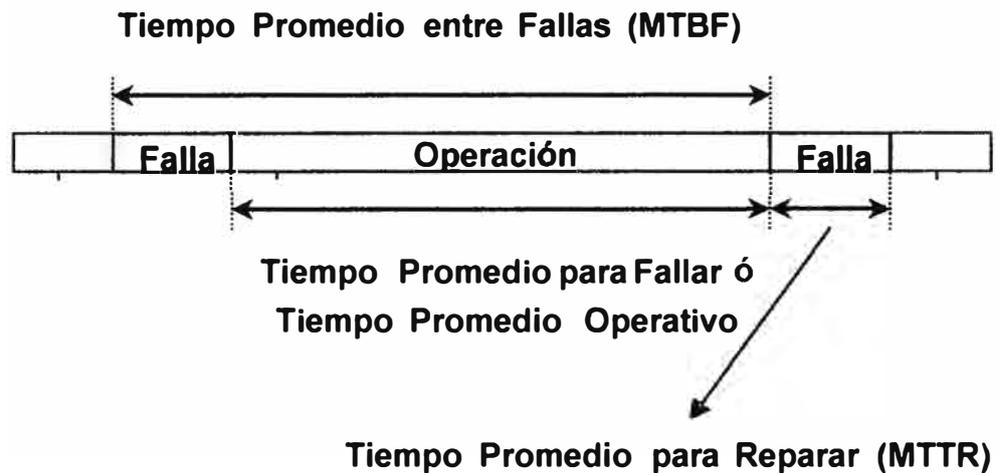
---

<sup>4</sup> Kopchinsky Jason, 2006; Reability Basisc for the Oil Análisis Professional. En Practicing Oil Analysis Magazine

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\frac{t_{op}}{MTBF}} \dots (2)$$

Donde:

$t_{op}$  : Tiempo de operación



**Figura N° 04: Relación entre Indicadores de Mantenimiento.**

Ref. Revista Mantenimiento. Instituto Peruano de Mantenimiento IPEMAN.

### 1.3- Conceptos de Análisis de Aceite.

#### 1.3.1 Revisión de las Bases del Análisis de Aceite

El análisis de aceite lubricante es una tecnología que es usada como herramienta del mantenimiento predictivo - proactivo que permite a través de su adecuada interpretación prevenir o anticiparse a los sucesos de falla de las maquinarias.

Hay al menos seis razones básicas para el uso del análisis de aceites.

- Para monitorear el desgaste de los componentes de la maquinaria.
- Para determinar el nivel de limpieza del lubricante.
- Para inspeccionar los contaminantes.
- Para asegurarse que el lubricante en servicio es el correcto.
- Para monitorear la degradación del lubricante.
- Para optimizar los intervalos de cambio de aceite.

Pero para cada una de estas razones existen una o varias pruebas o ensayos de laboratorio que deben estar orientadas hacia tres áreas específicas.

- Condición del Equipo: Rebabas de desgaste
- Condición de Contaminación: Contaminación del fluido
- Condición del Lubricante: Propiedades del aceite

Generalmente, es necesario efectuar las pruebas en las tres áreas, para evitar la falla de los equipos, aunque en ocasiones algunas de las pruebas trabajan en dos o más áreas, esto se utiliza para asegurar de la evidencia de alguna condición anormal.

**Tabla N° 01: El análisis de Aceites se efectúa en tres categorías.**

Ref. Trujillo, Gerardo. Interpretación de Análisis de Aceites

Pruebas	Propiedades del Aceite	Contaminación	Rebabas de desgaste
Propiedades que se analizan	Propiedades físicas y químicas del aceite usado	Contaminantes destructivos del aceite y la maquinaria	Presencia e identificación de las partículas de desgaste
Análisis de humedad	N	I	N
Conteo de partículas	N	I	M
Densidad de rebabas	N	N	I
Análisis Espectrofotométrico	I	M	I
Ferografía analítica	N	M	I
FTIR (Espectroscopía Infrarroja)	I	M	N
Prueba de membrana	N	I	M
Punto de inflamación	M	I	N
TAN / TBN	I	M	M
Tipo de Mantenimiento	Proactivo	Proactivo	Predictivo

I	<b>Beneficio Importante</b>
M	<b>Beneficio menor</b>
N	<b>No proporciona beneficio</b>

El análisis de aceite es una estrategia ampliamente utilizada y de grandes beneficios económicos. Los avances en computación, programas e

instrumentación han propiciado grandes cambios en el campo. Esta nueva tecnología hace que los programas de análisis de aceite sean más fáciles de administrar y asegura un alto retorno del dinero invertido en mantenimiento.

### **1.3.2 Descripción de las Pruebas más usadas en Análisis de Aceites.**

#### **Análisis Espectrométrico:**<sup>5</sup>

Esta técnica se utiliza para detectar y cuantificar elementos metálicos en un aceite usado como resultado del desgaste, contaminación y aditivos del aceite. (Aunque en ocasiones se utiliza para aceites nuevos, no es muy común). La muestra de aceite es energizada para hacer que cada elemento emita o absorba una cantidad cuantificable de energía, lo cuál indica la concentración de elementos en el aceite. Los resultados reflejan la concentración de elementos metálicos disueltos como los aditivos y también partículas muy finas de desgaste. Esta prueba es la columna vertebral de la mayoría de los laboratorios de análisis de aceite en el mundo, ya que proporciona información de la máquina, la contaminación y la condición del desgaste relativamente rápido y precisamente. Su limitación principal es que su eficiencia de detección es muy baja para partículas de tamaño de 5  $\mu\text{m}$  (micrones) o mayores. Las partículas con diámetros mayores de 10  $\mu\text{m}$  son generalmente las partículas resultantes de desgaste anormal y esas partículas deberán ser cuantificadas para determinar la ocurrencia del desgaste. Esta técnica tiene una exactitud promedio del 10%, aunque hay equipos nuevos que actualmente reportan 3%.

#### **Viscosidad:**

Conocida como la resistencia de un líquido a fluir. La viscosidad es la más importante propiedad física de un lubricante, ya que deben tener y conservar su habilidad de fluir y proteger las partes de la maquinaria a diferentes temperaturas y condiciones.

Es uno de los factores responsables de la formación de la capa de lubricación, bajo distintas condiciones de espesor de esta capa. La

---

<sup>5</sup> Texaco del Perú; 1997. Manual de Métodos de Análisis de Aceites.

viscosidad afecta la generación de calor en rodamientos, cilindros y engranajes debido a la fricción interna del aceite. Esto afecta las propiedades sellantes del aceite y la velocidad de su consumo.

Se puede distinguir dos clasificaciones de la viscosidad: Viscosidad dinámica o absoluta y viscosidad cinemática.

### Concepto de Viscosidad Dinámica

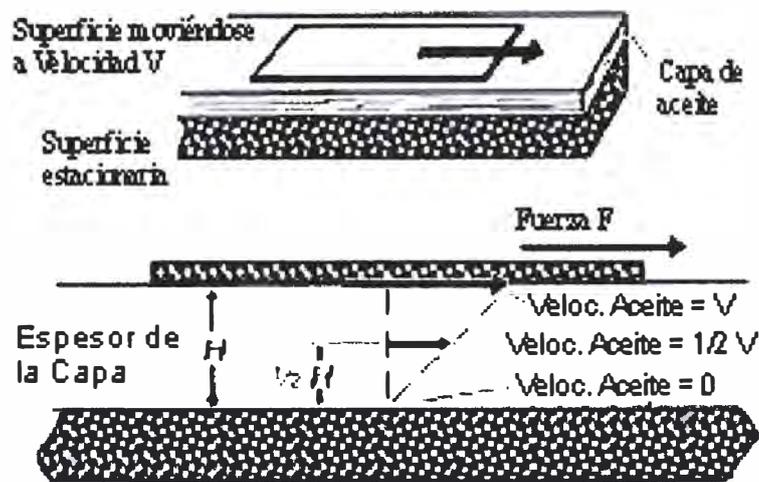


Figura N° 05: Viscosidad Dinámica

Ref. Belardita, Augusto; Gerenciamiento de la Lubricación.

$$\text{Viscosidad absoluta} = \frac{\text{Esfuerzo de corte}}{\text{Velocidad de corte}} \quad \dots (3)$$

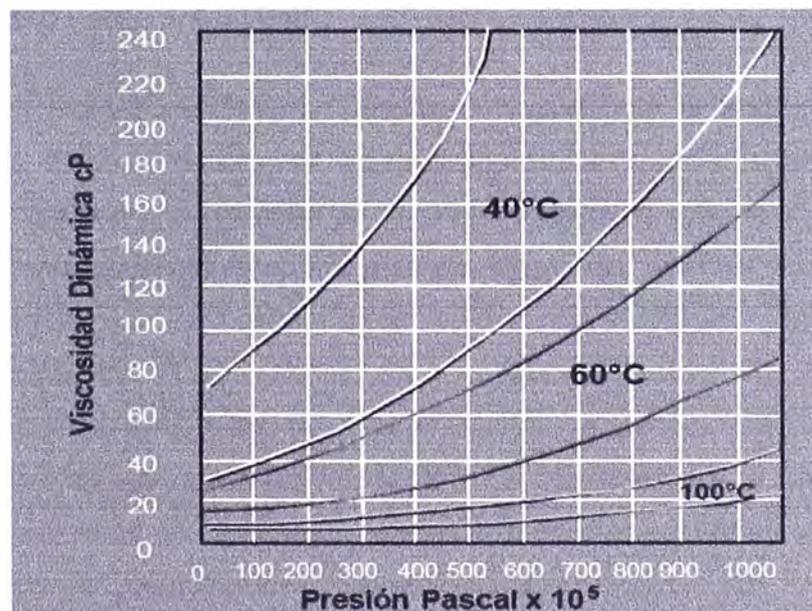
$$\text{Esfuerzo de corte} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}} \quad \dots (4)$$

$$\text{Velocidad de corte} = \frac{\text{Velocidad del fluido}}{\text{Distancia entre las superficies}} \quad \dots (5)$$

$$\text{Viscosidad cinemática} = \frac{\text{Viscosidad absoluta}}{\text{Densidad}} \quad \dots (6)$$

Las viscosidades de los lubricantes varían dependiendo de su grado o clasificación, así como de su grado de oxidación y contaminación durante el servicio. Algunos fabricantes de aceites recomiendan que si la viscosidad de un lubricante difiere en más de un 10% de su grado nominal o "línea de

base”, entonces se debe considerarse su cambio. Cuando el equipo está en una clasificación de mantenimiento de Monitoreo de Condición, deben ponerse en práctica controles más específicos. La viscosidad del aceite se incrementa con el tiempo de uso, y debe considerarse un decremento en la viscosidad más seriamente que un incremento. De esta manera, se recomienda establecer unos límites de alerta en +20%, -10%. (Ej. No más de 20% sobre el grado nominal y no menos del 10% bajo el grado nominal). La prueba estándar de Viscosidad Cinemática es la ASTM D455, que reporta los resultados en Centistokes cSt a 100°C o 40°C. Sin embargo vale la pena considerar el uso de la prueba de Viscosidad Absoluta, ya que en un aceite usado no sólo varía la viscosidad, sino también el peso específico o gravedad del aceite, dando por resultado un error en el resultado, ya que la viscosidad cinemática es igual a la Viscosidad Absoluta / Densidad.<sup>6</sup>



**Figura N° 06: Variación de la Viscosidad con la Presión.**

Ref. "Tutor de Lubricación de Shell"

#### **Análisis Infrarrojo (FTIR):**

Esta técnica espectrométrica se utiliza para detectar componentes orgánicos en el aceite, agua y productos de degradación de una muestra de aceite

<sup>6</sup> Trujillo, Gerardo; 2002; Interpretación de Análisis de Aceites; En "Machinery Lubrication Magazine" Edición digital. Noria Corporation.

usado. Durante la utilización del aceite, éste se degrada y en ocasiones se acidifica. Si la oxidación del aceite fuera severa, el lubricante corroerá las superficies del equipo. Mientras mayor sea el valor en Abs/0.1 mm, mayor oxidación se tendrá, (ver Anexo B.1.4). La nitración del aceite refleja de una manera similar el nivel de compuestos de nitrógeno (común en motores a gas natural). Las condiciones como barniz, depósitos de lodo, anillos atascados y taponamiento de filtros ocurren en sistemas con problemas de oxidación y nitración. La espectrometría infrarroja indica también contaminación debida a combustible, agua libre, glicol del anticongelante y depósitos por hollín. Algunos fabricantes de equipo han establecido algunos parámetros de advertencia, pero se recomienda que sea utilizada como una herramienta de monitoreo de tendencia. Los valores deberán ser considerados para cada aplicación, tipo de maquinaria, severidad, etc.

#### **Número Ácido Total (TAN):**

Es un método de titulación diseñado para indicar la acidez relativa del aceite. El número ácido es utilizado como una guía de seguimiento de la degeneración por oxidación de un aceite en servicio. Los cambios de aceite son frecuentemente recomendados cuando el valor del TAN alcanza un nivel predeterminado para un cierto tipo de lubricante y aplicación. Un incremento repentino del TAN deberá ser considerado como un indicador de condiciones anormales de operación (tal vez sobrecalentamiento) que requiere de una investigación por parte del departamento de mantenimiento. La mayoría de los fabricantes de aceites proporcionan límites condenatorios en sus recomendaciones. Se recomienda establecer un límite máximo dependiendo del tipo de aceite y la aplicación y monitorear la tendencia del aceite para detectar los cambios repentinos. El comportamiento del TAN es muy estable generalmente, manteniendo una tendencia en principio negativa y posteriormente se estabiliza, sin embargo, cuando la oxidación inicia, la tendencia se incrementará de manera exponencial. Esta prueba tiene la designación de ASTM D 974 y su exactitud es del  $\pm 15\%$ .

#### **Número Básico Total (TBN):**

El Número Básico, es el inverso del TAN y es una prueba de titulación utilizada para determinar la reserva alcalina de un lubricante. El TBN es aceptado generalmente como un indicador de la habilidad del lubricante para neutralizar ácidos peligrosos formados por la combustión de productos en motores de combustión interna. El TBN es normalmente aplicado a motores a Diesel. Los fabricantes de motores generalmente establecen en sus límites condonatorios valores límites mínimos para la operación y determinan el cambio de aceite cuando estos sean alcanzados. De igual manera se recomienda evaluar la tendencia y actuar cuando cambios súbitos se presenten.

### **Spot Test**

Las pruebas llevadas a cabo mediante secantes también son muy empleadas. Varias gotas de aceite son colocadas en un secante (papel de filtro Whatman N 42) y se deja que se asienten durante varias horas, hasta que esté completa la migración del aceite. Se obtiene una mancha similar a anillos concéntricos de gris en degradado, donde las diferencias en contenido de hollín resultan aparentes sobre la base de la intensidad de las manchas. Se forman tres anillos principales: el interno es la zona de depósito, materia extraña y carbonífera sin dispersar se vuelve gradualmente más oscura y al final es negra. Este anillo está limitado por un halo negro o "Pared de Detergencia". El anillo intermedio es el de difusión que indica las propiedades de dispersión del aceite y el anillo externo es el anillo del aceite y el color indica la oxidación del aceite, se vuelve amarillo oscuro a medida que aumenta la oxidación del aceite. De nuevo, las manchas de hollín de referencia ayudan a calcular la carga de hollín. Con experiencia, se puede obtener considerable información partiendo de las manchas. Si el aceite ha estado en uso sólo durante corto tiempo, la zona de depósitos es de color más claro que el anillo de difusión. A medida que aumenta el tiempo en servicio del aceite, se eleva la contaminación del hollín y la zona de depósito se oscurece. Si se reducen las propiedades dispersantes, el centro de la zona de depósito se vuelve negro oscuro con sólo un estrecho anillo de difusión. La contaminación debida al agua acentúa la acumulación en la

zona de depósito. El color del anillo más exterior indica la oxidación del aceite.

#### **Determinación de Agua:**

El agua es un elemento no deseado normalmente en el lubricante, ya que el agua destruye la capacidad del lubricante para proteger las partes en movimiento y además ataca los aditivos del aceite, haciendo que el equipo sufra desgaste, herrumbre y corrosión. Otro efecto del agua en los lubricantes es la formación de espuma, incremento de temperatura y lodo en los tanques. La contaminación por agua no deberá exceder del 0.25% en la mayoría de los equipos y no más de 100 ppm. Para aceites de turbinas y sistemas de control. Hay varios métodos utilizados para evaluar la humedad, cada uno con diferentes niveles de detección, los cuales se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla N° 02. Pruebas para detectar Agua en el lubricante.**

Ref. Trujillo, Gerardo. Interpretación de Análisis de Aceites

<b>Prueba</b>	<b>Límite de Detección</b>	<b>Costo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Visual</b>	> 1%	Bajo	Prueba de campo sólo cualitativa	Sólo es posible ver agua en cantidades grandes
<b>Crepitación</b>	1000 ppm (0.1%)	Bajo	Buen indicador de campo, fácil de efectuar	Sólo cualitativo – No válido para tendencia.
<b>Agua por FTIR</b>	1000 ppm (0.1%)	Bajo	Cuantitativo. Bueno para tendencia, fácil de efectuar	Si hubiera glicol, puede haber confusión
<b>Centrífuga</b>	1000 ppm (0.1%)	Bajo	Utilizado para detectar agua en el combustible.	No es muy efectivo, debido a los aditivos demulsificantes.
<b>Karl Fisher</b>	10 ppm (0.001%)	Alto	Cuantitativo, excelente como tendencia, muy exacto aún con baja humedad	Requiere solventes, genera desechos Se requieren expertos

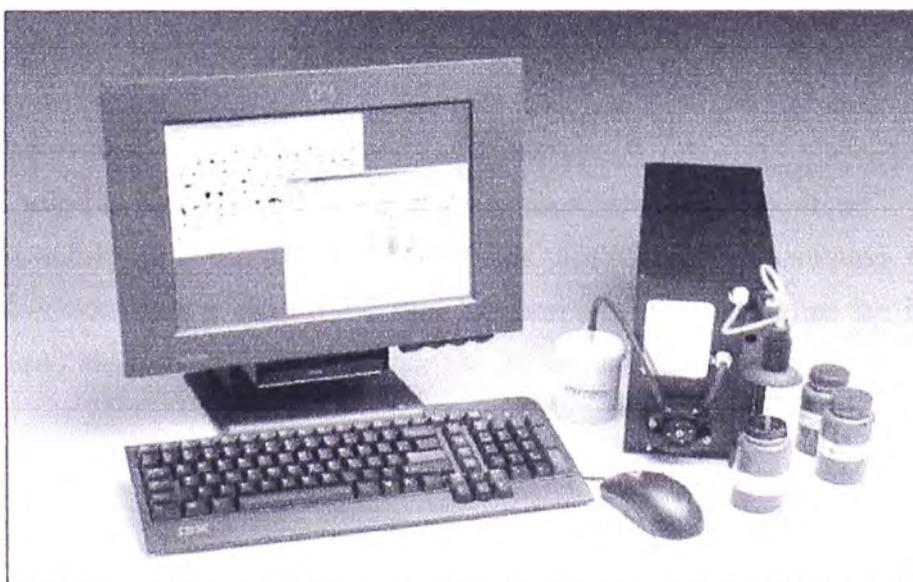
#### **Conteo de Partículas:**

Es un método para clasificar y contar partículas en el fluido lubricante de acuerdo con rangos aceptados de tamaño, por Organismos como ISO con

su norma ISO 4406-99 entre otros. La más utilizada es la ISO 4406, la cual especifica el nivel de limpieza de un aceite con base en tres números, el primero de los cuales indica el número de partículas mayores ó iguales a 4  $\mu\text{m}$ ; el segundo a 6  $\mu\text{m}$  y el último a 14  $\mu\text{m}$  presentes en 1 ml de muestra del aceite evaluado.

Se lleva a cabo mediante la utilización de un Contador de Partículas (funciona con una base óptica láser) que permite una medición absoluta de las partículas de 2  $\mu\text{m}$  en adelante presentes en una muestra del aceite (no especifica el tipo de material). Hay varios tipos de instrumentos utilizados para conteo de partículas, que utilizan diferentes sistemas y tecnologías, desde contadores ópticos láser hasta los de monitoreo de bloqueo de poro.

El conteo de partículas, cuenta todas las partículas en la muestra de aceite sin importar el tipo de elemento de que se trate y las clasifica de acuerdo a su tamaño. Su interpretación deberá ser en función de los parámetros de limpieza que se hayan establecido para cada aplicación en particular, cualquier variación por arriba de los límites, deberá generar una investigación de la causa y probablemente sea necesario tomar acciones de filtración, reemplazo de filtros, aceites, etc. La eficiencia de los equipos puede variar en función del tipo de aceite y los aparatos, generalmente es del 10%.



**Figura N° 07: Contador de Partículas, Laser Net Fines.**

Ref. Manual del Usuario LaserNet Fines, Spectro Inc.

## **1.4- Los Aceites Lubricantes.**

### **1.4.1. Aceites Lubricantes industriales.**

Un lubricante se define como:

Toda materia no abrasiva que introducida entre dos superficies en movimiento, tiende a separarlas reduciendo su fricción y su desgaste, además de protegerlas contra la corrosión y la herrumbre.<sup>7</sup>

### **1.4.2- Clasificación ISO de los aceites Industriales.**

La ISO (The International Organization for Standardization) a partir del 1º de enero de 1978 hizo efectiva la clasificación ISO de viscosidades para los lubricantes líquidos industriales, identificada con ISO 3448, que establece 18 grados de viscosidad comprendidos entre 2 y 1500. Cada uno de estos grados se designa por el número entero más cercano a su viscosidad cinemática media, expresada en centistokes a 40°C permitiéndose una variación de  $\pm 10\%$  de este valor.

Por otro lado en años anteriores a la publicación de la clasificación ISO otros organismos como la Sociedad Americana de Fabricantes de Engranajes (**AGMA**), la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices (**SAE**)<sup>8</sup>, desarrollaron otros métodos para medir la viscosidad de aceites lubricantes de uso en engranajes industriales y automotores, en la actualidad estos tres sistemas de clasificación siguen vigentes.

### **1.4.3 Funciones de los aceites Lubricantes.**

#### **Funciones Principal y Secundaria de los Aceites Lubricantes**

Los lubricantes desempeñan funciones por demás importantes para la protección de los elementos que lubrican o de los sistemas en los que actúan, se puede mencionar algunas.

---

<sup>7</sup> Mobil Oil del Perú, 1997; En "Manual de Productos". Lima, Perú

<sup>8</sup> Shell Lubricantes del Perú; 2007. En "Manual de Productos". Lima, Perú.

**Tabla N° 03 Clasificación de viscosidades ISO para lubricantes industriales.**

Ref. Shell Lubricantes del Perú Manual de Productos..

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

#### **Funciones Principales**

- **Control de la fricción.**

Esta función se puede lograr con una adecuada selección de la viscosidad del lubricante a utilizar, y con un paquete de aditivos que reduzcan la fricción tanto como sea posible.

- **Control del desgaste.**

A reducirse la fricción se puede controlar el desgaste.

- **Control de la temperatura.**

Aquí el lubricante se desempeña como agente de enfriamiento al enfriar los componentes de las máquinas. ya que “capturan” el calor de las zonas de alta fricción y lo llevan hacia otro lado (radiadores, intercambiadores de calor, etc.), para luego retornar al mismo componente pero con menor temperatura para continuar con su ciclo de recorrido.

- **Control de la Herrumbre y la Corrosión.**

Esto se logra con una adecuada capa protectora de lubricante y con un paquete de aditivos que se adhiera a las partes metálicas produciendo una reacción entre este aditivo y el metal de tal forma que proteja de la corrosión.

#### **Funciones Secundarias**

- **Transmisión de Potencia.**

Como fluido en transmisiones y sistemas hidráulicos.

- **Remover contaminantes.**

Esto se puede ver claramente en los filtros de aceite sean automotrices o industriales donde las partículas generalmente sólidas se depositan en las paredes de los filtros.

#### **1.4.4 Aceites minerales.**

Los aceites minerales son los aceites formulados con aceites básicos que provienen de la refinación de los crudos de petróleo.<sup>9</sup>

Se pueden clasificar de acuerdo a la función que desempeñan y los tipos de aplicaciones industriales.

Por lo general existen hasta tres tipos de aceites minerales:

Aceites parafínicos, nafténicos y aromáticos.

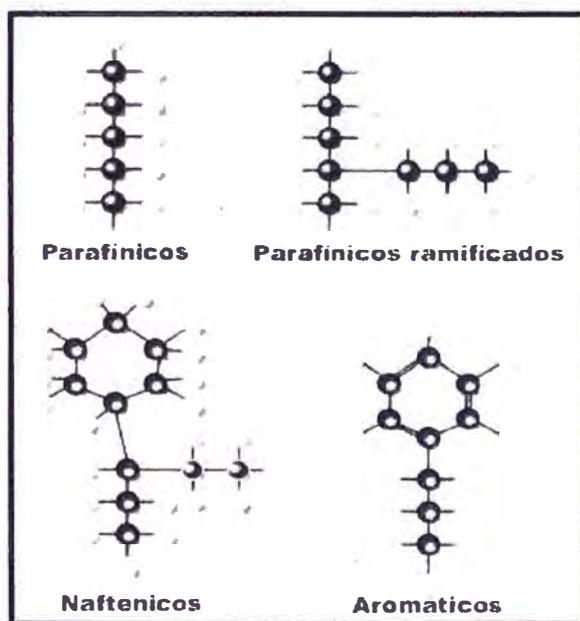
---

<sup>9</sup> Texaco del Perú. Obra Citada.

**Tabla N° 04: Diferencias entre las principales bases de aceites minerales.**

Ref. Lansdown. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

	<b>PARAFÍNICOS</b>	<b>NAFTÉNICOS</b>
<b>Procedencia del Petróleo Crudo</b>	Continente medio, Mar del Norte, Medio oriente.	América del sur, zonas costeras de EE UU.
<b>% Parafínicos.</b>	45-60	15-25
<b>% Nafténicos</b>	20-30	65-75
<b>% Ceras</b>	1-10	Trazas
<b>Índice de viscosidad</b>	95-105	30-70
<b>Congelación.</b>	Congelación por ceras	Menor congelación por viscosidad.
<b>Punto de inflamación</b>	Mayor que el nafténico	Menor que el Parafínico
<b>Solvencia a los aditivos</b>	Pobre a regular	Buena.
<b>Aplicaciones</b>	Aceites de motor Aceites hidráulicos Aceites de turbinas Aceites de engranajes Aceites de rodamientos	Aceites de refrigerantes Aceites de compresores.



**Figura N° 08: Estructuras moleculares comunes de aceites minerales.**

Ref. Lansdown. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

#### 1.4.4.1 Clasificación de las bases

De acuerdo con el «American Petroleum Institute» (API) las bases lubricantes se dividen en cinco grupos dependiendo de los procesos para su obtención y sus características de índice de viscosidad promedio.

**Tabla N° 05: Clasificación API de las bases lubricantes.**

Ref. Universidad de la Lubricación. ExxonMobil de Colombia

Grupo	Azufre. Peso %		Saturados, %	I.V.
I	>0.03	y / o	< 90	80-120
II	≤0.03	y	≥90	80-120
III	≤0.03	y	≥90	> 120
IV	Polialfaolefinas (PAOs)			
V	Bases No Incluidas en los Grupos I-IV (Pale Oils)			

#### 1.4.5 Aceites sintéticos.

Aunque los lubricantes sintéticos han estado en uso en la industria por más de 50 años, hay aún una gran confusión acerca de los lubricantes sintéticos y los beneficios de valor agregado en aplicaciones industriales. Muy poca gente sabe que ellos deberían estar utilizando lubricantes sintéticos o como analizar y justificar el uso de los sintéticos sobre los lubricantes tradicionales a base de solventes.

##### ¿Qué es un aceite Sintético?

El término Hidrocarburo sintetizado (SHC), y lubricantes sintéticos, son utilizados igualmente para describir una familia de aceites y grasas sintéticos que incluyen aceites circulantes, aceites de engranes, aceites hidráulicos, grasas y aceites de compresores. Estos lubricantes son utilizados en una gran variedad de aplicaciones industriales. Por definición, un lubricante sintético es un lubricante diseñado y elaborado para servir mejor a los propósitos previamente reservados para productos extraídos directamente del petróleo. Los términos sintetizado y sintético, describen los aceites

básicos principalmente Polialfaolefinas PAOs. Adicionalmente, hay otros tipos de aceites básicos que incluyen poli glicoles, ésteres orgánicos, ésteres fosfatados, di ésteres, poli fenil ester, fluorocarbones y siliconas sólo por mencionar algunos<sup>10</sup>.

Los aceites básicos producidos por la madre naturaleza a partir del petróleo, carecen de una estructura molecular y varían dependiendo de la calidad y la procedencia del crudo. Los aceites sintetizados, no varían, lo que mejora su habilidad para desempeñarse en un amplio rango de temperaturas. Adicionalmente a su tamaño y estructura uniforme, los fluidos sintéticos, tienen también idénticas uniones moleculares muy fuertes y una estructura saturada. Debido a que la síntesis es hecha de un gas, los sólidos como las ceras, no son contenidas en los productos finales, como sucede en los procedimientos para elaborar básicos tradicionales. Además, los sintéticos tienen un inherente alto índice de viscosidad, que el aceite se adelgace menos con las altas temperaturas y que se engruese menos en las bajas temperaturas.

#### **1.4.5.1- Propiedades de los aceites sintéticos.**

##### **Mayor vida del aceite y de los componentes.**

No es raro que los lubricantes sintéticos proporcionen entre 5 y 10 veces más larga vida que los aceites minerales. Como resultado de la extensión del periodo de cambio, el costo de disposición es menor, además de menores costos de mantenimiento y menores costos por paros en la producción, debido a menor cantidad de cambios. Una regla de la industria, establece que la tasa de oxidación de los aceites convencionales se duplica, la vida de ese aceite se reduce a la mitad, por cada incremento de 10°C en la temperatura de operación. La estructura de los sintéticos, les permite resistir substancialmente el ataque del oxígeno en presencia del calor.

La resistencia a la oxidación, causa menor formación de depósitos y barniz, mientras los aditivos detergentes-dispersantes en los sintéticos mantienen los productos de la oxidación en suspensión. Como

---

<sup>10</sup> Trujillo, Gerardo; 2003; Los Lubricantes Sintéticos. Noria Latin América.

resultado hay menor corrosión y herrumbre, menor frecuencia en las fallas de los equipos, debido a la no formación de barniz o depósitos, así como menos mantenimiento durante los paros programados, debido a que las superficies de los componentes estarán limpias.

**Mayor estabilidad a la oxidación,** dará como resultado menores reemplazos de componentes debido a fallas en la condición de los lubricantes. Esto convierte a los sintéticos en una mejor opción para aquellos equipos con aceites de llenado-de-por-vida.

### **Gran protección en altas y bajas temperaturas.**

La principal ventaja en el desempeño de los aceites sintéticos es su aplicación en un amplio rango de temperaturas de servicio. Los sintéticos tienen una mayor resistencia de película --mas protección-- y gran estabilidad térmica bajo una gran variedad de temperaturas de operación, cuando son comparados con los aceites minerales. Los sintéticos proporcionan completa lubricación rápidamente y reducen el desgaste de los componentes.

### **Fluidez superior a bajas temperaturas.**

Los sintéticos, tienen un desempeño sobresaliente en bajas temperaturas, proporcionan un mejor flujo al arranque en extremadamente bajas temperaturas, así como gran estabilidad en altas temperaturas. Dado que un alto porcentaje del desgaste ocurre en el arranque de los equipos y los sintéticos pueden fluir mejor y proporcionar la protección necesaria, el equipo queda protegido. El punto de congelación de un aceite lubricante, es la más baja temperatura a la que un aceite puede fluir. Los aceites convencionales contienen ceras disueltas, cuando un aceite se enfría, las ceras comienzan a separarse como cristales que se unen. Estos cristales forman una estructura rígida que atrapa el aceite en pequeños espacios en la estructura. Cuando la estructura de cristales de cera es suficientemente completa, el aceite ya no fluye.

### **Desempeño Superior.**

La estructura molecular uniforme de los sintéticos, proporciona una mayor resistencia de película. Los aceites sintéticos, pueden ser utilizados en situaciones de lubricación a película delgada o lubricación escasa, debida a altas cargas y bajas velocidades o altas velocidades, alto torque y alta potencia, donde los lubricantes convencionales fallan. Por eso es que los sintéticos son utilizados ampliamente en autos de competencia. Adicionalmente, los sintéticos tienen una película muy estable al corte y no requieren de un aditivo para mejorar esta característica aún en altas o bajas temperaturas.

Los sintéticos tienen una menor volatilidad, lo que repercute en un menor consumo de aceites. El uso de los sintéticos, requiere menor relleno de aceite, debido a una menor tasa de evaporación.

En cada caso, las propiedades especiales de los aceites sintéticos, justifican el costo adicional cuando los lubricantes minerales no pueden proporcionar el adecuado desempeño. El uso de un lubricante sintético se justifica, basado en las consideraciones económicas de la aplicación. Generalmente un sintético proporciona entre 5 a 10 veces mas vida, comparado con un aceite mineral. Los sintéticos pueden costar alrededor de 5 veces mas que un aceite mineral, por lo que no se podrá frecuentemente justificar su uso basado únicamente en el costo del lubricante y la extensión de su vida útil. En su proceso de decisión, asegúrese de incluir todos los conceptos que intervienen en el costo y los beneficios potenciales que estos lubricantes le proporcionan:

- Menos partes de reemplazo
- Menos costos por mano de obra
- Menos cambios de aceite.
- Menos costos por disposición
- Menos filtros.
- Ahorros de energía

- Producción con menores interrupciones.

#### **1.4.6- Propiedades físicas del aceite básico.**

##### **BÁSICOS DE PETRÓLEO <sup>11</sup>**

Son en su mayoría productos obtenidos mediante procesos de refinación del petróleo crudo.

El petróleo crudo consiste en su mayoría de hidrocarburos (hidrógeno y carbono) y en pequeñas proporciones de impurezas como compuestos de azufre (0.04% hasta 5% en peso), compuestos de oxígeno (ácidos orgánicos), compuestos de nitrógeno, contaminantes inorgánicos (sales y aguas) y compuestos metálicos (vanadio y níquel).

El petróleo se formó hace millones de años. Se cree que se originó a partir de los restos de pequeños animales y plantas acuáticos que se depositaron en el lodo y cieno del fondo de los mares antiguos. Los depósitos formaron capas sucesivas y sometidas a altas temperaturas y presiones sufrieron una transformación química, llevando a la formación de hidrocarburos y otros constituyentes del petróleo crudo. En muchas áreas el petróleo crudo migró y se acumuló en las rocas porosas recubierto con rocas impermeables que previnieron su posterior movimiento. Usualmente, debajo de este pozo formado se concentra agua salada.

##### **Propiedades físicas del aceite básico.**

Para poder describir las características claves de un aceite básico nuevo se deben hacer los siguientes ensayos.

---

<sup>11</sup> Texaco del Perú. Obra Citada.

**Tabla N° 06: Propiedades físicas del aceite básico mineral.**

Ref. James C. Fitch, Wills. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

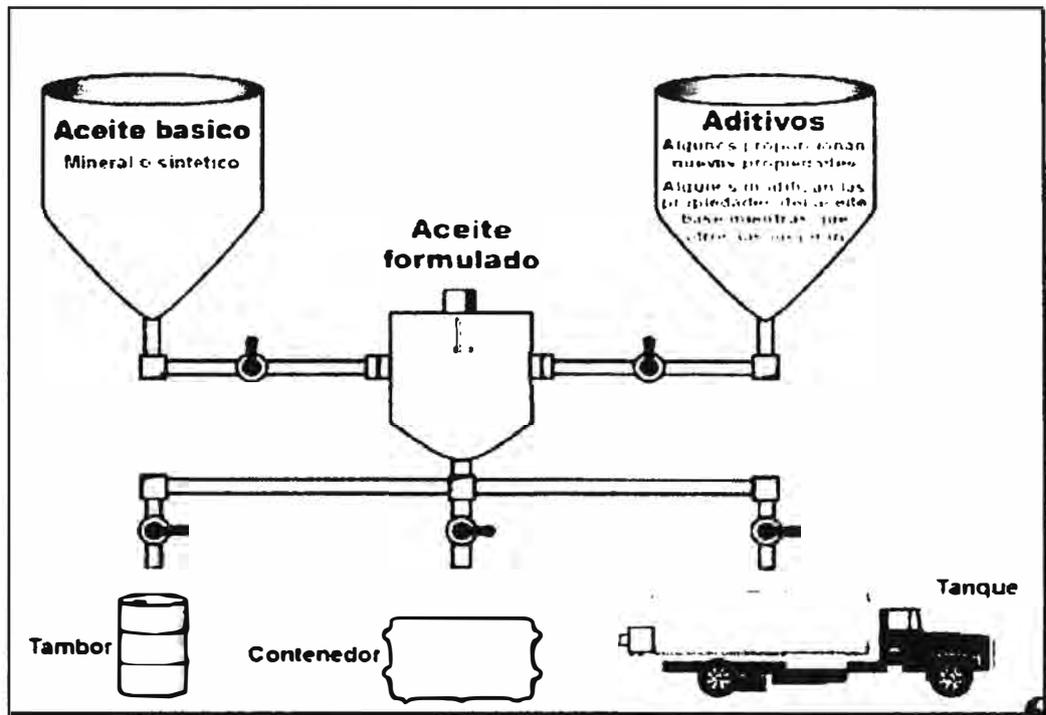
<b>Propiedad</b>	<b>Importancia</b>	<b>Cómo se determina</b>	<b>ASTM</b>
Viscosidad	Define el grado de viscosidad del aceite básico	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad.	D-445
Índice de Viscosidad	Define la relación entre la temperatura y la viscosidad.	Variación de la viscosidad entre 40 y 100°C.	D-2270
Densidad	Define la densidad de un aceite respecto del agua	Hidrómetro	D-1298
Punto de inflamación	Define las propiedades de inflamación y volatilidad a altas temperaturas.	Temperatura a la que se inflama los vapores del aceite.	D-92/ D93
Punto de congelación	Define el comportamiento de un aceite a bajas temperaturas	Flujo por gravedad en un recipiente de prueba. Temperatura a la que se alcanza una viscosidad de 22000 cSt.	D-97

**1.4.7- Formulación de los aceites lubricantes.**

Usualmente, Un lubricante consta de un fluido base, generalmente originario del petróleo, combinado con aditivos químicos que realzan varias propiedades deseables del fluido base. Estos fluidos base (básicos) se obtienen esencialmente de dos fuentes principales: del refinado del petróleo crudo y de la síntesis de compuestos relativamente puros con propiedades que son apropiadas para utilizarlos como lubricantes.

En forma esquemática se puede resumir:

**Lubricante = Aceite Básico + Aditivos**



**Figura N° 09: Formulación de los aceites lubricantes.**

Ref. Manual de Análisis de Aceites de Noria Latin América.

#### **1.4.8- Los aditivos usados en la formulación de lubricantes.**

Los aditivos son sustancias químicas que se agregan al lubricante básico para mejorar ciertas propiedades.

Esto es, una vez obtenido el lubricante básico, se le agregan principalmente aditivos antioxidantes y anticorrosivos. Estos aditivos son absolutamente necesarios en todos los lubricantes básicos para brindar resistencia a la corrosión a los metales con los que el lubricante va a estar en contacto y resistencia a la oxidación para el lubricante mismo. La oxidación es muy común entre los aceites y es fácilmente reconocida, por ejemplo, en la cocina de casa, la manteca y otras cosas que contienen aceite se ponen rancias debido a la oxidación de estos productos. Todos los lubricantes básicos eventualmente se oxidan y se degradan. Esto es lo que hace que un lubricante usado adquiera una coloración oscura y aumente su viscosidad. Los aditivos son importantes y esenciales para brindar durabilidad y consistencia a los lubricantes.

Una vez que el aceite básico ha sido combinado con los dos aditivos mencionados anteriormente (antioxidantes y anticorrosivos), se la agrega un

segundo "paquete" de aditivos. Este paquete provee las características especiales a cada lubricante. Lo interesante del asunto es que la materia prima afecta la calidad final tanto como cada uno de los aditivos que conforman la mezcla.

- Compuesto orgánicos e inorgánicos disueltos o suspendidos (como sólidos) en el aceite.
- Pueden representar entre el 0.1% y el 30 % del volumen de un aceite formulado.

#### **1.4.9- Clasificación de los aditivos.**

En la actualidad existen diferencias entre los fabricantes de aditivos en cuanto a su denominación existiendo en algunas ocasiones varios nombres para un sólo tipo de aditivo por lo que es más conveniente clasificarlos sobre la base de la función que desempeñan<sup>12</sup>.

##### **Mejorar las propiedades existentes del aceite básico.**

- Antioxidantes
- Inhibidores de corrosión
- Agentes antiespumantes
- Agentes demulsificantes

##### **Suprime propiedades indeseables del aceite básico.**

- Depresores del punto de congelación
- Mejoradores del índice de viscosidad (IV)

##### **Imparte nuevas propiedades al aceite básico.**

- Aditivos EP o antidesgastes (AD)
- Detergentes
- Deactivadores de metales
- Agentes de adhesividad.

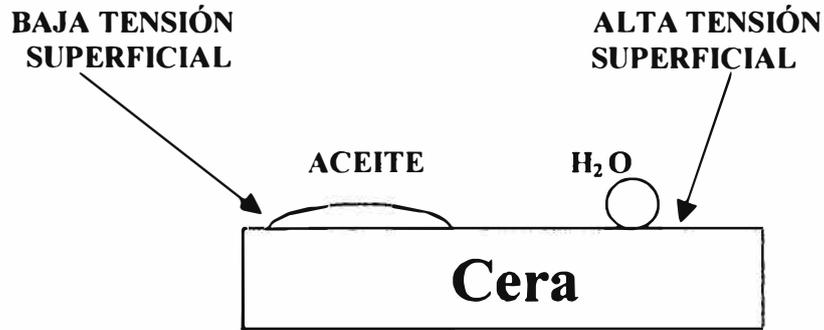
#### **1.4.9.1- Aditivos polares. Antioxidantes, Inhibidores de corrosión, Dispersantes, detergentes, agentes antiespumantes, aditivos antidesgaste y modificadores de fricción.**

---

<sup>12</sup> Mobil Oil del Perú. Obra Citada.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS ADITIVOS POLARES

La atracción direccional natural de las moléculas de los aditivos a otros materiales polares en contacto con el aceite.



**Figura N° 10: Tensión Superficial entre líquidos de diferente polaridad**

Ref. James C. Fitch. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

**Tabla N° 07: Aditivos que presentan propiedades de polaridad**

Ref. James C. Fitch. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

Mecanismo polar	Qué ocurre	Aditivos
Envolvimiento de partículas	Los aditivos envuelven la superficie de la partícula	Deactivadores de metales, detergentes y dispersantes
Emulsión de agua	La cabeza polar del aditivo se fija a la micro gota de humedad	Agentes emulsificantes
Mojado del metal	Los aditivos cubren la superficie del metal	Inhibidores de corrosión antidesgaste, aditivos EP, agentes de oleosidad.

#### Materiales que son polares:

- Agua
- Esponja
- Vidrio
- Tierra
- Superficies metálicas
- Pulpa de madera

#### Materiales que no son polares:

- Teflón
- Aceite básico mineral
- Ceras
- La espalda de los patos

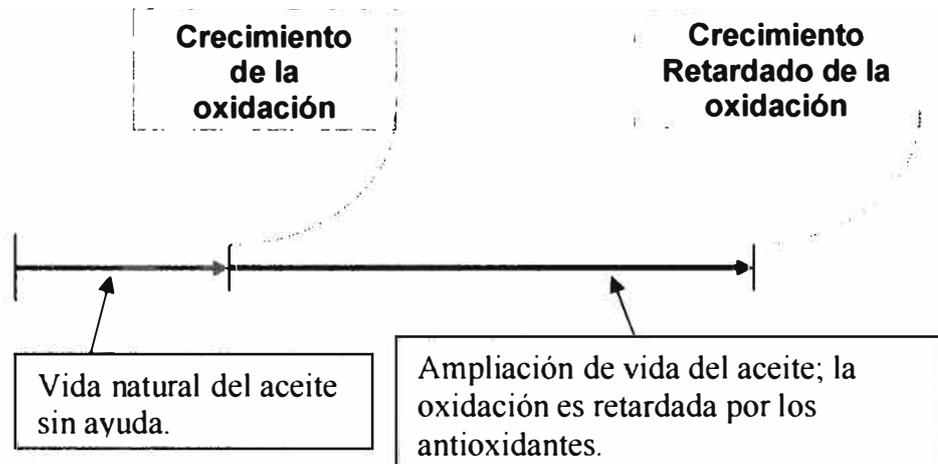
## ANTIOXIDANTES O INHIBIDORES DE OXIDACIÓN

Los aditivos llamados así son generalmente clasificados de acuerdo con la manera cómo actúan.

**Interruptores de cadena**, debido a que interrumpen la reacción en cadena entre el oxígeno y los hidrocarburos, para evitar la formación de ácidos y lodos.

**Deactivadores de metales**, debido a que previenen el efecto catalítico de los metales que promueven la oxidación del lubricante contenido en un sistema. Las partículas o superficies de los metales son cubiertas por el agente que actúa como una barrera, evitando el efecto catalítico. De los normalmente encontrados, el metal más activo es el cobre, seguido del plomo y el hierro.

Algunos antioxidantes actúan de las dos formas, como interruptores de cadena y como deactivadores de metales.



**Figura N° 11** Cómo los antioxidantes alteran la vida del aceite.

Ref. Herguth. Manual de Análisis de Aceites de Noria Latin América.

## INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Son compuestos químicos que al contrario de los anteriores, tienen la cualidad de hacer que el agua y el aceite se mezclen completamente y después de que la emulsión se forme, esta se mantenga estable.

### **DISPERSANTES**

En lubricación, un término usualmente empleado intercambiable con detergente. Un aditivo, usualmente no metálico ("sin cenizas") que mantiene las partículas finas de materiales insolubles en una solución homogénea. Por lo tanto, las partículas no pueden asentarse y acumularse.

La dupla de aditivos detergentes y dispersantes encuentran su principal aplicación en los aceites lubricantes para motores de combustión interna.

### **DETERGENTES**

Los aditivos llamados así no hacen que los aceites adquieran propiamente cierta capacidad de limpieza. Su función es conservar las máquinas y motores internamente limpios, reduciendo la tendencia a la formación de depósitos.

### **ANTIDEGASTE O DE MEDIANA EXTREMA PRESION**

Estos aditivos son más activos que los agentes de resistencia de película y usualmente reaccionan con las superficies metálicas. Para suministrar suficiente material antidesgaste con el cual pueden soportar mayores cargas, que con los agentes de resistencia de película.

### **ANTIESPUMANTES**

Estos materiales al ser adicionados a los aceites lubricantes promoverán un más rápido rompimiento de las burbujas que forman espuma, al reducir la tensión superficial de la película de aceite que envuelvan las burbujas de aire.

### **MEJORADORES DE ÍNDICE DE VISCOSIDAD**

Son por lo general, polímeros de alto peso molecular, que al adicionarse a los aceites les aumentan el índice de viscosidad, mejorando su relación viscosidad/ temperatura.

### MODIFICADORES DE FRICCIÓN.

Son productos químicos activos en la superficie que afectan el coeficiente de fricción en condiciones de lubricación límite.

Para todos los propósitos son químicos que al añadirse a un aceite lubricante en una concentración menor a 1% afectan significativamente el coeficiente de fricción.

**Tabla N° 08: Aditivos que se usan en los diferentes tipos de lubricantes.**

Ref. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

MÁQUINA	ADITIVOS COMUNES UTILIZADOS	% VOLUMEN DE ACEITE
Motores	Antioxidante, inhibidor de corrosión. Detergente/ dispersante, antidesgaste, antiespuma mejorador de alcalinidad.	10 – 30 %
Turbinas de vapor, compresores	Antioxidante, inhibidor de corrosión, demulsificante.	0.5 – 5 %
Engranajes espiralados, cónicos o hipoidales	Antidesgaste, antioxidante, antiespumante, algunas veces inhibidor de corrosión, extrema presión.	1 – 10 %
Engranajes sinfin	Extrema presión, antioxidante, inhibidor de corrosión, ácidos grasos.	3 – 10%
Sistemas hidráulicos	Antioxidante, antidesgaste, antiespumante, inhibidor de corrosión, depresor del punto de congelación, mejorador del índice de viscosidad.	2 – 10 %

**Tabla N° 09: Elementos Hallados En Aditivos Para Aceites  
Lubricantes**

Ref. Propiedades necesarias de un lubricante y el rol de los aditivos.

<b>ADITIVOS PARA ACEITES LUBRICANTES</b>
Bario (Ba) Detergente o aditivo dispersante.
Boro (B) Aditivo de Extrema-presión.
Calcio (Ca) Detergente o aditivo dispersante.
Cobre (Cu) Aditivo Antidesgaste.
Plomo (Pb) Aditivo Antidesgaste.
Magnesio (Mg) Detergente o aditivo dispersante.
Molibdeno (Mo) Modificador de fricción.
Fósforo (P) Inhibidor de Corrosion - Aditivo Antidesgaste.
Silicio (Si) Aditivo Antiespumante
Sodio (Na) Detergente o aditivo dispersante.
Zinc (Zn) Aditivo Antidesgaste o antioxidante.

#### **1.4.9.2- TIPOS DE PELÍCULAS LUBRICANTES.**

##### **TIPOS DE LUBRICACIÓN**

El tipo de lubricación que cada sistema necesita se basa en la relación de los componentes en movimiento.

Hay tres tipos básicos de lubricación:

- Límite
- Hidrodinámica, y
- Mixta

Para saber qué tipo de lubricación ocurre en cada caso, se necesita conocer ciertos parámetros como: la presión y velocidad relativa entre los componentes a ser lubricados, la viscosidad del lubricante y otros factores.

**La Lubricación Límite:** ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas. Durante lubricación límite, hay contacto físico entre las superficies y hay desgaste.

**Ejemplo:** En un motor, la mayor cantidad del desgaste ocurre en el arranque. Esto sucede por la baja lubricación límite, ya que el aceite está en situación de reposo en el fondo del cárter, produciéndose el contacto de metal a metal. Una vez que el motor haya arrancado, una nueva capa de lubricante es establecida con la ayuda de la bomba de aceite a medida que los componentes adquieren la velocidad de operación.

**La Lubricación Hidrodinámica:** ocurre cuando se supera cierto nivel de velocidad crítica y la lubricación límite desaparece y da lugar a la lubricación hidrodinámica. Esto sucede cuando las superficies están completamente cubiertas con una película de lubricante.

Teóricamente, bajo condiciones hidrodinámicas, no hay contacto físico entre los componentes y no hay desgaste. Si los motores pudieran funcionar bajo condiciones hidrodinámicas todo el tiempo, no habría necesidad de utilizar aditivos antidesgaste y de alta presión en la formulación de los lubricantes, con lo cual el desgaste es mínimo.

La propiedad que más afecta a la lubricación hidrodinámica es la **viscosidad**. La viscosidad debe ser lo suficientemente alta para brindar lubricación límite durante el arranque del motor para producir mínimo desgaste, pero una vez lograda la lubricación hidrodinámica, la viscosidad también debe ser lo suficientemente baja para reducir al mínimo la fricción producida por un aceite viscoso a medida que es enviado a presión hacia los metales (cojinetes) y bancadas. Una de las reglas básicas de lubricación es que cuanto más baja la viscosidad, menos energía se desperdicia bombeando el lubricante.



**Figura N° 12: Película de aceite en los dientes de engranajes**

Ref. Internet

**Ejemplo:** Los conductores de autos de alta competencia en Estados Unidos en el cuarto de milla en los Estados Unidos le ponen aceite de viscosidad "SAE 0" ó "SAE 5", dado que reduce la fricción interior del motor, dándoles máxima potencia pero alto desgaste, ya que la viscosidad es demasiado baja, pero ellos quieren la mayor cantidad de potencia y no interesa el desgaste ya que desarman el motor después de cada carrera.

**La Lubricación Mixta:** es exactamente eso, una mezcla inestable de lubricación límite e hidrodinámica. Por ejemplo, cuando se enciende el motor o cuando arranca un componente, en caso de que se trate de otro equipo, la velocidad de los componentes aumenta velozmente y por una pequeña fracción de segundo se produce lubricación mixta. En otras situaciones, cuando el torque y la velocidad de los componentes es variable la mayor parte del tiempo.

**Ejemplo:** Al manejar en altura por una carretera y luego manejar en el tráfico de la ciudad, debido a los cambios bruscos y los cambios de temperatura producidos, pueden hacer que el lubricante se "queme" más rápido y que así la lubricación hidrodinámica sea difícil de adquirir ya que el lubricante ha perdido propiedades dado que algunos aditivos

se "quemaron", dejando así el motor trabajando en una condición de lubricación mixta, la cual producirá más desgaste.

### **1.5- Categorías de Análisis de Aceite.**

El Análisis de Aceite es una técnica simple, que proporciona gran información al Profesional de Mantenimiento, con respecto a:

- La salud del lubricante (Proactivo)
- La contaminación del lubricante (Proactivo)
- El desgaste de la maquinaria (Predictivo).

#### **1.5.1- Propiedades de los fluidos. Propiedades físicas y químicas del aceite usado.**

#### **1.5.2- Proceso de degradación del aceite**

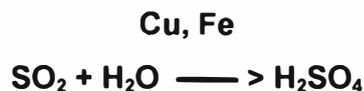
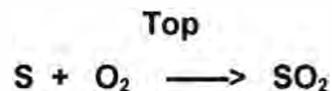
Además de acumular contaminantes, los lubricantes de carter también están sometidos a los efectos de la alta temperatura, y entrada de aire durante el servicio. Estas condiciones promueven la oxidación; La cual, si se permite que continúe indefinidamente, lleva a un aumento en la viscosidad, la presencia de barniz y de depósito. Los productos de escape de la combustión acídica juegan un papel significativo en la degradación del aceite y promueven al igual la corrosión del metal.

Los refinadores de aceite confrontan el problema de producir lubricantes estables, desde que se lubricaron los primeros motores de combustión interna. Los aceites minerales puros de la época anterior a la II Guerra Mundial tenían tendencia a promover la formación de depósitos y barniz., a pesar de que sólo transcurran cortos periodos de tiempo entre uno y otro cambio de aceite, pero al menos eran adecuados para los motores de poca potencia de aquella época. Aumentos subsiguientes en la potencia de los motores significa mayores demandas a los lubricantes. El refinador ha hecho frente a estos desafíos con mejoras en el procesamiento y adelantos en la tecnología de los aditivos que han llevado a los lubricantes de alta calidad de hoy en día. Cada nuevo desarrollo ha proporcionado mayor resistencia a la oxidación, corrosión y desgaste normal del motor.

### 1.5.2.1- Factores que intervienen en la degradación de los lubricantes industriales.

La degradación es un proceso químico que se empieza a presentar en el aceite una vez que la reserva alcalina proveniente de los aditivos antioxidantes ó de los detergentes-dispersantes se empieza a agotar. El proceso se acelera dependiendo de los contaminantes presentes en el aceite; es irreversible y conlleva finalmente a la formación de ácidos como el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

La reacción de oxidación que se presenta en un aceite mineral es la siguiente <sup>13</sup>:



Los factores que inciden en la oxidación del aceite son:

- **El azufre (S)**: es un componente del proceso de oxidación; proviene de la base lubricante cuando es derivada del petróleo y del combustible cuando se trata de aceites de tipo automotriz.
- **El oxígeno (O<sub>2</sub>)** del aire: es un componente del proceso de oxidación; su presencia es inevitable y es mayor cuando el aceite se encuentra trabajando en los mecanismos lubricados.
- **La temperatura de operación (Top)**: actúa como un catalizador del proceso de oxidación; influye más severamente en la oxidación del aceite en la medida que su valor sea mayor de los 50°C. Se tiene que por cada 10°C de incremento en la temperatura de operación del aceite por encima de los 50°C, su rata de oxidación se duplica. Así, por ejemplo, si se tiene el caso de dos aceites minerales A y B, que trabajan a 50°C y a 80°C respectivamente, el aceite A se cambia cada año y el B cada mes y medio para un trabajo continuo de 24 horas diarias. Es un factor que se puede controlar minimizando al máximo

<sup>13</sup> Ingelub. Ingenieros de Lubricación Ltda.

las pérdidas por fricción en los mecanismos lubricados ó enfriando el aceite.

- **El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** es el resultado de la oxidación parcial del aceite y se presenta cuando se agota la reserva alcalina del aceite. Su presencia en el aceite se puede reducir dializando el aceite. Si en este estado se cuantifica el TAN del aceite, su incremento por encima del valor original, es de 0,2 mgr KOH/ gr.

- **El agua (H<sub>2</sub>O):** es un componente del proceso de oxidación; puede estar presente en el aceite por condensación de la humedad del aire presente dentro del equipo rotativo, también es un subproducto de la combustión en motores de combustión interna, ó por la contaminación del aceite ya sea durante su almacenamiento ó porque los sellos ó retenedores del equipo rotativo están en mal estado. Es inevitable su presencia en el aceite, pero se puede eliminar ó minimizar al máximo mediante el drenaje periódico ó el mantenimiento al aceite utilizando las técnicas de la filtración (filtros coalescentes) y de la diálisis.

- **Partículas de cobre (Cu) y de hierro (Fe):** actúan como catalizadores del proceso de oxidación; estas partículas pueden provenir del desgaste normal ó anormal de los mecanismos lubricados, es inevitable su presencia, pero se puede minimizar mejorando la lubricación de los componentes ó filtrando el aceite.

- **Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>):** es el producto final cuando el aceite se oxida y se presenta cuando la reserva alcalina tanto de los aditivos como de la base lubricante se agota. Una vez que el aceite alcanza esta condición, se debe cambiar y la única manera de recuperar la base lubricante es por destilación ó por tratamiento con arcilla. Después de la formación del SO<sub>2</sub>, hasta que se forma el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, el incremento del TAN del aceite, por encima del valor original, es de 0,7 mg.KOH/g aproximadamente .

### **1.5.3- Contaminación de los fluidos. Contaminantes destructivos del fluido y de la maquinaria.**

#### **CONDICIONES QUE LIMITAN LA VIDA ÚTIL DEL ACEITE**

La contaminación y la degradación son las principales causas que reducen la efectividad de los lubricantes.

#### **Contaminación**

En los aceites usados de cárter se encuentra por lo general agua, suciedad atmosférica, combustible, escapes de la combustión tipo hollín, y metales de desgaste del motor. Los lubricantes almacenados en envases abiertos o el uso de equipo de suministro sucio son las causas de que se introduzcan materias extrañas en el aceite cuando éste se añade. Si se siguen adecuados procedimientos para la manipulación del lubricante, la contaminación subsiguiente refleja la condición o el funcionamiento del motor <sup>14</sup>.

Las causas comunes de la presencia del agua son los bloques rajados, sellos o casquillos con escapes. Las bajas temperaturas de la chaqueta o la existencia de cortos e infrecuentes periodos de funcionamiento también condensan el agua que sale con los gases de escape de la combustión.

Un limpiador de aire defectuoso o una abertura externa en el sistema de entrada de aire permite la entrada de polvos atmosféricos. Estos materiales son abrasivos y promueven el desgaste del motor que puede resultar catastrófico. Sin embargo como pueden existir muchas causas para los fallos extremos, sólo un cuidadoso examen revelará la razón real.

La dilución del combustible es causada generalmente por mezclas de combustible y aire demasiado ricas, exceso y combustible para obtener mayor potencia, arranques en frío del motor repetidos, e inyectores defectuosos o con escapes. Los casos de dilución extrema reducen seriamente la viscosidad del aceite y destruyen su habilidad para lubricar.

---

<sup>14</sup> Texaco del Perú. Obra Citada.

La combustión demasiado rica produce un escape lleno de humo y el hollín contamina el lubricante, volviéndolo negro. Este hollín queda bien disperso y es arrastrado sin mayor daño y en forma efectiva por los modernos aceites de motor altamente dispersantes. Sin embargo, la contaminación del agua puede causar un sedimento de hollín, aun cuando la capacidad del aceite para dispersar el hollín no ha sido excedida.

El desgaste ocurre tan pronto un motor es colocado en servicio. Bajo condiciones ordinarias, el desgaste es un proceso lento y gradual que continúa a través de la duración del motor. El proceso de desgaste se acelera en presencia del agua, abrasivos o dilución del combustible.

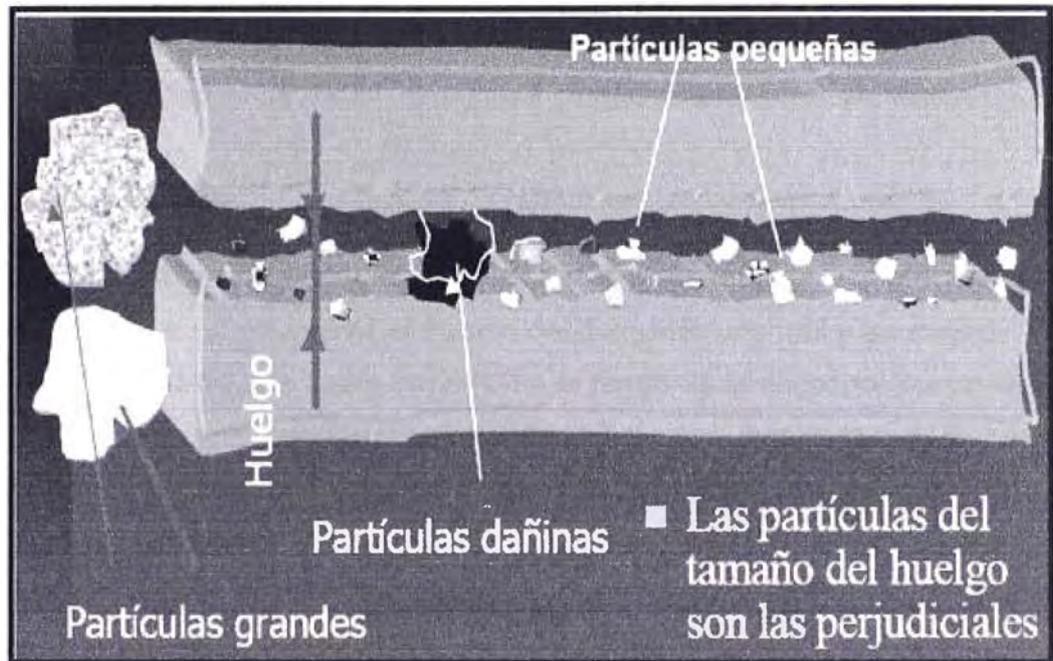
#### **1.5.4- Partículas de desgaste. Presencia e identificación de partículas de desgaste.**

Se ha hablado el desgaste en todo momento pero hasta ahora no se ha presentado su significado.

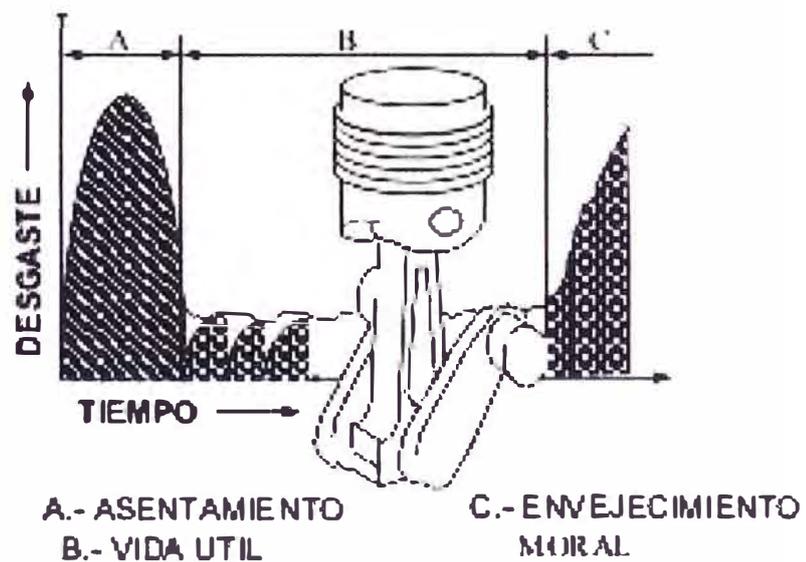
#### **Desgaste.**

El desgaste es multifacético y no hay una manera exacta de definir este fenómeno altamente costoso para los departamentos de mantenimiento; sin embargo se puede considerar como la pérdida de material que sufre un elemento, en este caso mecánico, que hace que su forma geométrica cambie y que su funcionamiento se vuelva errático y antifuncional. El análisis de la tendencia normal al desgaste de un mecanismo permite elaborar la curva tribológica para cada uno de los elementos metálicos que lo constituyen.

Hay múltiples razones por las cuales en un mecanismo se puede presentar el desgaste ya sea adhesivo, abrasivo, corrosivo, erosivo, por cavitación, ó por corrientes eléctricas. Cualquiera de ellos puede ser el resultado del acercamiento de dos superficies que se mueven la una con respecto a la otra y que trabajan bajo condiciones de película fluida ó por la presencia de partículas sólidas en una concentración por encima de la máxima permisible.



**Figura N° 13: Partículas de desgaste en un claro dinámico.**  
 Ref. Belardita, Augusto; Gerenciamiento de la Lubricación.



**Figura N° 14: Curva típica de evolución de tasa de fallas de un motor**  
 Ref. Ingenieros de Lubricación, Colombia

Las técnicas más importantes para evaluar e identificar el desgaste de un mecanismo son:

- Análisis Espectrofotométrico.
- Conteo de Partículas.

- Ferrografía.

Las dos primeras técnicas ya se han considerado, ahora se describirá la última.

## **FERROGRAFÍA**

La Ferrografía capta partículas metálicas en el rango de 0,1 a 500  $\mu\text{m}$ , con lo cual cubre no solamente el campo del desgaste anormal y traumático (10 a 100  $\mu\text{m}$ ), sino que opera también en el rango de la espectrofotometría de emisión atómica; permite clasificar las partículas metálicas en el rango menores 10  $\mu\text{m}$  y mayores de 10  $\mu\text{m}$ ; y por medio del microscopio y de patrones de reconocimiento, realiza un análisis de la forma y del tamaño de las partículas metálicas, determinando el tipo de desgaste. Una vez que se ha determinado por espectrofotometría de emisión atómica que se tiene una tendencia al desgaste ascendente y que el código ISO de limpieza del aceite está por fuera de especificaciones, se procede a realizarle al aceite un análisis de ferrografía para evaluar la gravedad del desgaste que se está presentando en el componente del equipo<sup>15</sup>.

Es recomendable continuar realizando durante un periodo de tiempo determinado, tanto el conteo de partículas como la ferrografía hasta que la situación se normalice, ó se tome la decisión de parar el equipo para cambiarle el componente afectado. Si la tendencia de las partículas mayores de 10  $\mu\text{m}$  analizadas por ferrografía es constante y su forma es redondeada, hay un problema crítico de desgaste abrasivo y es necesario corregir las causas que lo están originando; si la tendencia es ascendente es necesario parar el equipo y cambiarle el componente afectado; esto también se debe llevar a cabo cuando la tendencia de las partículas mayores de 10  $\mu\text{m}$  sea constante y su forma sea alargada ó puntiaguda.

---

<sup>15</sup> Trujillo, Gerardo; 2002; Interpretación de Análisis de Aceites



**Figura N° 15: Preparación de un Ferrograma**

Ref. Wear Check International

#### **1.5.4.1- Código ISO de contaminación de sólidos**

La prueba de conteo de partículas con las que se monitorea la contaminación del aceite lubricante requiere un método estándar para reportar sus resultados.

La norma ISO 4406-99 que reemplaza a la norma ISO 4406-87 establece como se informan estos resultados. Esta norma contiene una tabla con códigos asignados a diferentes rangos, que representan cantidades de partículas en 1 ml de muestra<sup>16</sup>.

Una vez obtenidos los resultados de la medición, clasificados por estos rangos, se eligen los rangos que contienen la cantidad acumulada de partículas mayores que 6 micrones y aquel que corresponda a las mayores que 14 micrones. Con esas cantidades se determinan los códigos de la Tabla ISO 4406 para cada rango acumulado y se informa en forma mínima como  $R_6/R_{14}$  sólo con dos códigos. La forma completa (aunque menos frecuente) del reporte incluye un tercer código  $R_4$ , que corresponden a la cantidad acumulada de partículas mayores que 4 micrones.

Entonces el informe queda como  $R_4/R_6/R_{14}$

---

<sup>16</sup> Catalán, Octavio; 2002; La nueva Norma ISO 11171; Santiago, Chile.

**Tabla N° 10 Código ISO para representar concentraciones de partículas**

Ref. ISO 4406-99

Cantidad de Partículas por ml		Número de Rango (R)
Mayores que	Hasta e inclusive	
80000 >	160000 ≤	24
40000	80000	23
20000	40000	22
10000	20000	21
5000	10000	20
2500	5000	19
1300	2500	18
640	1300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1

También se determinó cambiar la forma de escribir unidad micrones. Lo que en la norma antigua (1987) se escribía como  $\mu$ , en la nueva norma (1996) se escribe como  $\mu\text{m(c)}$ .

## Cómo utilizar el Código de Contaminación Sólida ISO

### CODIGO ISO 4406:99

Tamaño (micrones)	Cantidad / mL
> 4	1750
> 5	520
> 10	160
> 14	50
> 20	27
> 50	1.4
> 75	0.43
> 100	0.07

**Forma Abreviada**

**R4 / R6 / R14**

**16 / 13**

Número ISO	Partículas por mililitro (mL)	
	De	Hasta (inclusive)
24	80000	160000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
<b>18</b>	1300	2500
17	640	1300
<b>16</b>	320	640
15	160	320
14	80	160
<b>13</b>	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.5	2.5

**Forma Completa**

**R4 / R6 / R14**

**18 / 16 / 13**

Figura N° 16: Forma de utilizar el código de Contaminación ISO 4406-99

Ref. Belardita, Augusto; Gerenciamiento de la Lubricación.

### Código ISO para Distintas Aplicaciones

	12/9	14/11	16/13	18/15	20/17	22/19	24/21	26/23
Tipo Aceite	[ M L L S ]							
Hidráulico	[ M L L L S ]							
Reductores	[ ML L L S ]							
Mot Comb Interna	[ ML L L S ]							
Turbinas a gas	[ M L L S ]							

**ML: Muy Limpio**

**L: Limpio**

**S: Sucio**

Figura N° 17: Códigos ISO de Limpieza típicos recomendados.

Ref. Belardita, Augusto; Gerenciamiento de la Lubricación.

## 1.6- Principales Componentes Mecánicos Objeto de Lubricación.

### 1.6.1 Cojinetes y Engranajes.

En toda industria se encuentra dispositivos mecánicos que sirven para la transmisión de fuerza y movimiento.

#### Cojinetes

Los tipos más simples de cojinetes planos puede ser solamente un hueco en un bloque, o el bloque puede estar dividido en dos segmentos para facilitar el ensamble o en algunos casos, cuando la carga se aplica en una sola dirección, el cojinete puede consistir en un solo segmento<sup>17</sup>. La parte del eje que entra dentro del cojinete se llama muñón. Los cojinetes planos se diseñan para operar con lubricación a película fluida o a película delgada. La mayoría de los cojinetes a película fluida son diseñados para lubricación hidrodinámica, pero hoy en día se ha incrementado el uso de cojinetes para aplicaciones especiales, diseñados para lubricación hidrostática.

**Figura N° 18: Ejemplo de un Cojinete**

Ref. Mobil Oil de Colombia



#### Engranajes

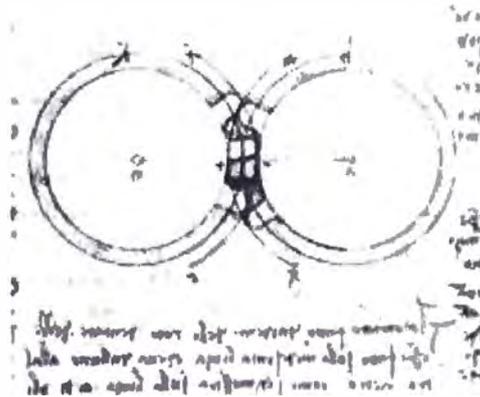
El inventor de los engranajes en todas sus formas fue Leonardo da Vinci, quien a su muerte en Francia en 1519, dejó sus valiosos dibujos y esquemas de muchos de los mecanismos que en la actualidad se utilizan diariamente.

---

<sup>17</sup> Mobil Oil Corporation; 1997; Manual de Lubricación. Houston, USA.

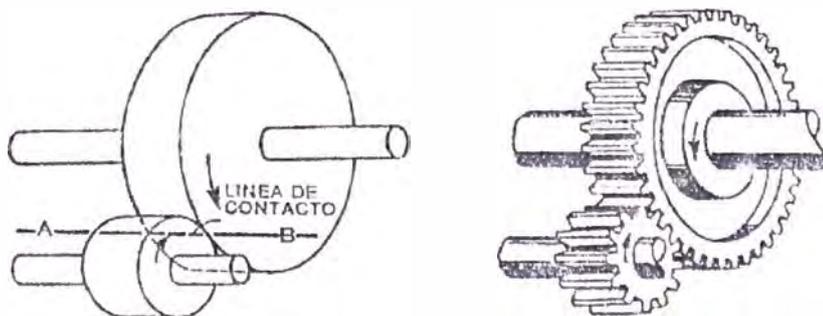
La forma más básica de un engrane es una pareja de ruedas, una de ellas provistas de barras cilíndricas y la otra formada por dos ruedas unidas por barras cilíndricas.

Los engranes propiamente tales son ruedas provistas de dientes que posibilitan que dos de ellas se conecten entre sí.



**Figura N° 19: Engranaje diseñado por Leonardo Da Vinci**  
Ref. Internet, Varios.

Los engranajes son definidos como “palancas mecánicas” que transfieren potencia y movimiento rotativo de un eje a otro en forma eficaz y segura; son usados muy frecuentemente y pueden conseguirse en casi todos los sistemas mecánicos, en diferentes formas y materiales. Los tipos de engranajes a usarse en determinado equipo, así como los materiales con los cuales se fabrican, dependen del trabajo que van a desempeñar, por lo que se debe de tener cuidado en elegir a los engranajes tomando en consideración las cargas, velocidades, temperaturas de funcionamiento y otros.



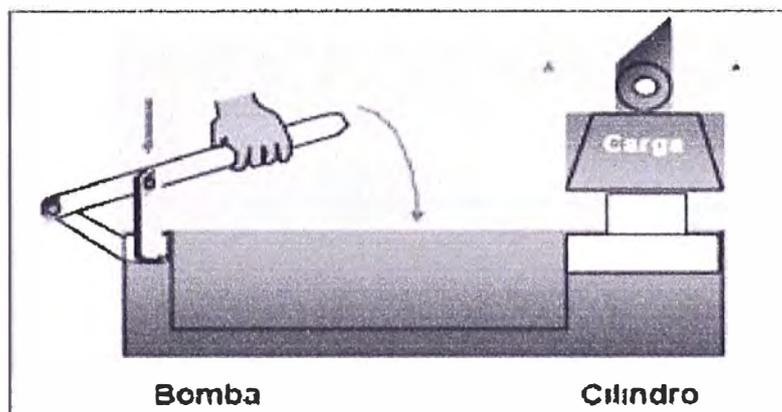
**Figura N° 20: Un sistema de engranajes.**

Ref. Mobil Oil Corporation, Manual de Lubricación

### 1.6.2 Sistemas Hidráulicos:

El término hidráulica se usó originalmente para referirse a cualquier aplicación en ingeniería, de las propiedades de los líquidos y especialmente del agua. Hoy en día la palabra generalmente se refiere al uso de líquidos para la transmisión de energía<sup>18</sup>.

La operación básica de un sistema hidráulico está ilustrada en el siguiente diagrama donde se muestra una gata hidráulica simple. En este aparato, el pistón de una bomba pequeña es usado para hacer presión sobre un líquido, la presión es transmitida a través del líquido que llena el sistema a un cilindro en el cual un pistón más grande tiene una carga. A medida que la fuerza en el pistón pequeño aumenta, la presión se incrementa hasta ser mayor que la carga.



**Figura N° 21: Ejemplo de un Sistema Hidráulico simple.**

Ref. Tutor de Lubricación de Shell

Los sistemas hidráulicos no son una fuente de potencia. La fuente de potencia es un motor eléctrico u otro tipo de motor que acciona la bomba. En la práctica la mayoría de los sistemas hidráulicos tienen más refinamientos.

Este diagrama es un sistema típico: Una bomba operada continuamente, generalmente por un motor eléctrico succiona fluido del depósito.

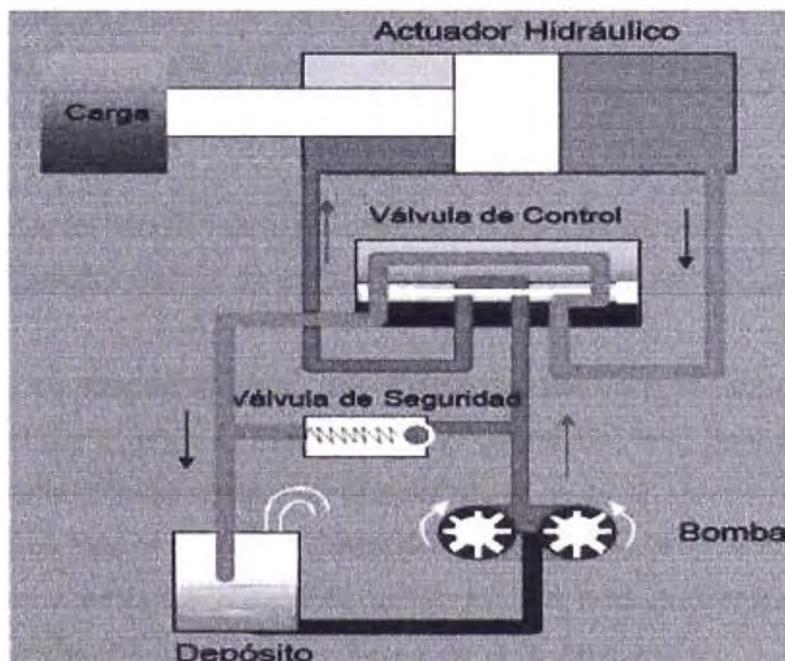
El fluido es alimentado a un actuador o motor hidráulico a través de una línea de presión, el fluido opera el equipo para la cual está diseñado el

<sup>18</sup> Shell de Colombia, 2002, Cap 5 Lubricantes para Sistemas Hidráulicos, en "Tutor de Lubricación de Shell"

sistema hidráulico. En el diagrama el actuador es simplemente un cilindro que contiene un pistón móvil. Una válvula de control dirige el fluido a un lado del pistón hasta que al final de su carrera, la válvula cambia de posición y dirige el fluido al otro lado del pistón.

La velocidad del movimiento del pistón se puede controlar incluyendo un regulador en el circuito para regular la velocidad de flujo al cilindro.

El fluido desplazado por el actuador, a medida que el pistón se mueve, es devuelto al depósito. Un sistema de escape está incluido en el circuito para proteger el sistema: Este opera una válvula que se abre para descargar cualquier presión excesiva que pueda acumularse en el sistema. Esto permite que la bomba se mantenga funcionando cuando el actuador hidráulico no está siendo usado, en vez de apagar y prender el sistema continuamente. Un filtro adecuado es siempre incluido en el circuito hidráulico para remover impurezas sólidas en el fluido.



**Figura N° 22: Ejemplo de un Sistema Hidráulico típico.**

Ref. Tutor de Lubricación de Shell

### 1.6.2.1 Contaminación en Los Sistemas Hidráulicos

La contaminación es el más serio problema que afecta a los Sistemas Hidráulicos por lo que deben ser monitoreados periódicamente. La tierra y el agua son los más peligrosos contaminantes en estos

sistemas. Está estimado que del 75 al 85% de todas las fallas en sistemas hidráulicos son resultado directo de la contaminación del fluido<sup>19</sup>. Los componentes como bombas, válvulas, actuadores y conductores son afectados por la contaminación de la siguiente manera:

1. Fugas internas que reducen la eficiencia de la bomba y motores y reduce la habilidad de las válvulas de controlar el flujo y la presión. Esto genera desperdicio de potencia (HP) y genera exceso de temperatura.
2. Corrosión en el sistema por ácidos que se forman debido a la oxidación del aceite y la contaminación con agua.
3. Atascamiento de válvulas debido a contaminación por partículas.

## **1.7- Aspectos Básicos de Filtración de Lubricantes.**

**Filtro.**-La función de un filtro es de remover en tamaño y cantidad las partículas desde un fluido circulante el cual debe alcanzar el requerido nivel de limpieza del fluido y prevenir la reacción en cadena del desgaste.

### **1.7.1 Factores que Afectan el Desempeño de los Filtros**

Antes de seleccionar un filtro apropiado, se deberá examinar los siguientes puntos:

- **Demanda Impuesta por los Componentes de la Máquina** – La viscosidad del aceite a la temperatura de operación, tasa de flujo de aceite en el sistema y caída de presión permisible.
- **Tamaño, Tipo y Nivel de Contaminación Esperada** – Se debe conocer los niveles y tasas de ingreso de polvo del ambiente, partículas metálicas, cenizas, partículas de desgaste, agua y otros contaminantes.

### **1.7.2 Medición del Desempeño de los filtros**

#### **1.7.2.1 Tasa Nominal**

Una medida arbitraria en micrones, basada en el porcentaje de remoción de contaminantes, indicada por el fabricante del filtro.

---

<sup>19</sup> Simmonds, Rob; 2007; Esto es todo acerca del Tamaño; R&t Reliability Technologies I.td

### 1.7.2.2 Tasa Absoluta

El tamaño en micrones de la partícula dura más grande y esférica que pasa por el elemento filtrante.

### 1.7.2.3 Tasa Beta ( $\beta_x$ )

El cociente del número de partículas iguales o mayores a un tamaño dado ( $x$ ) en el fluido entrante con respecto a las partículas del mismo tamaño ( $x$ ) en el fluido saliente<sup>20</sup>.

$$\beta_x(c) = \frac{N^\circ \text{ de partículas } \geq x(c) \text{ micrones antes del filtro}}{N^\circ \text{ de partículas } \geq x(c) \text{ micrones después del filtro}} \quad \dots (7)$$

Donde para efectos de medir la eficiencia teórica de los filtros se define el porcentaje de eficiencia:

$$Ex(c) = \frac{(\beta_x(c) - 1)}{\beta_x(c)} \times 100 \quad \dots (8)$$

Donde  $Ex(c) = \text{Eficiencia de Filtración}$

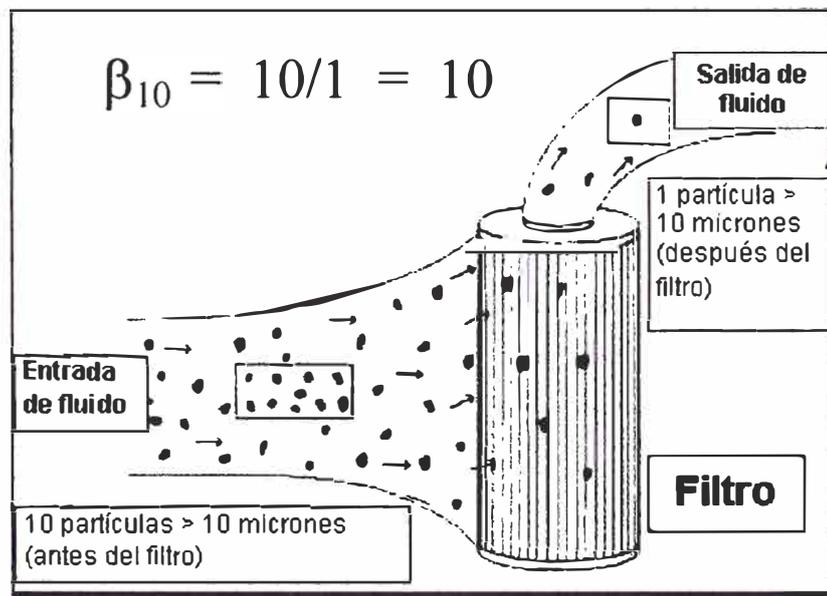


Figura N° 23: Razón Beta para un sistema de filtración de 10  $\mu\text{m}$

Ref. ISO 4572, Diagnostics.

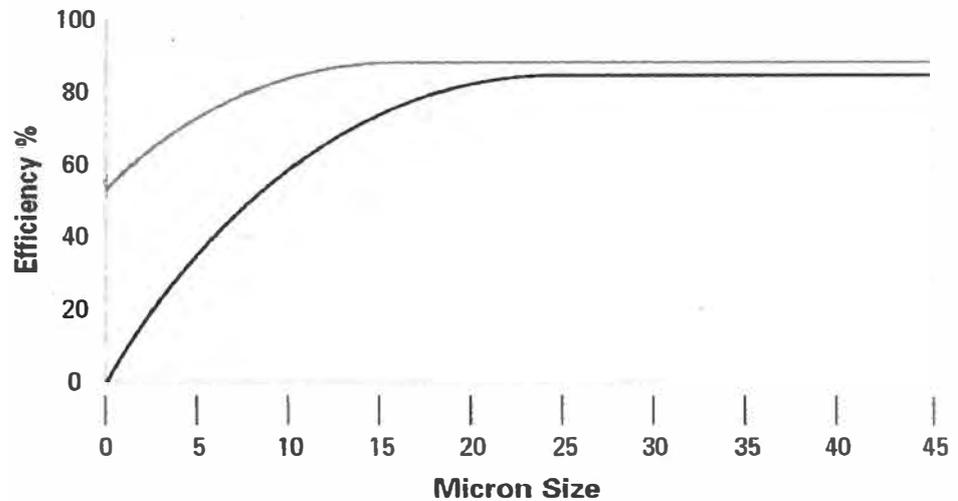
<sup>20</sup> Schroeder Industries LLC; 2005; Element Technical Data Fundamentals; Hamburgo, Alemania.

Los sistemas denominados “Sistemas Limpios” como turbinas, hidráulicos, etc. requieren del conteo de partículas y no deben exceder ISO 18/16/12 en la mayoría de los casos, sin embargo algunas aplicaciones requieren límites más estrictos. Este es un excelente método para verificar la eficiencia del filtro y actualmente se le utiliza como una de las técnicas del Mantenimiento Proactivo para determinar el inicio de alguna condición anormal que pueda llegar a generar desgaste.

**Tabla N° 11: Comparación de eficiencias Beta**  
Ref. Elaboración Propia

<b>Partículas entrantes</b>	<b>Partículas salientes</b>	<b>Relación Beta <sub>(x)</sub></b>	<b>Eficiencia <sub>(x)</sub></b>
<b>100000 &gt; x micrones</b>	50000	<b>2</b>	<b>50 %</b>
	5000	<b>20</b>	<b>95 %</b>
	1333	<b>75</b>	<b>98.7 %</b>
	1000	<b>100</b>	<b>99 %</b>
	500	<b>200</b>	<b>99.5 %</b>
	100	<b>1000</b>	<b>99.9 %</b>

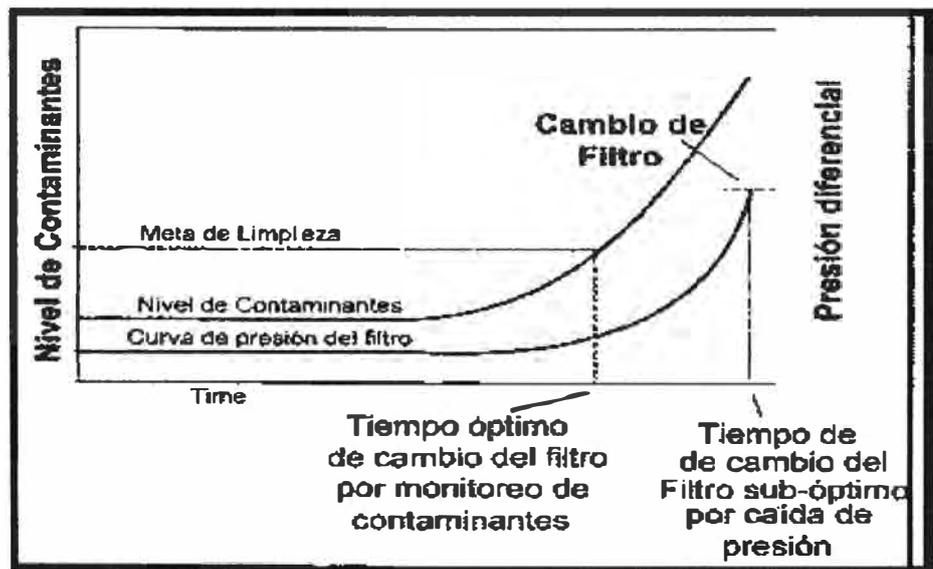
La calidad del filtro es directamente proporcional a la limpieza y la tasa de desgaste del sistema. Cuanto mayor es la tasa beta para un mismo tamaño del poro en micrones resultará en una tasa más rápida de limpieza; Así, esta es la mejor manera de controlar la admisión de sólidos en el sistema. Las fuentes principales de admisión de contaminantes al sistema típicamente son los sellos, respiraderos, tanques llenos de aceite (dejados abiertos), y las rebabas de desgaste.



**Figura N° 24: Eficiencia de filtración de tres diferentes filtros.**

Ref. Catálogo de Filtros Donaldson

La mayoría de compañías han establecido una razón beta de 200 para sus tamaños de poros y es el más utilizado para objetivos de niveles de limpieza proactivos. Sobre la vida de la máquina, un mejor filtro de calidad (generalmente más caros) resultará ser más eficientes sobre la base de costos que un filtro más barato debido a la relación entre el desempeño del filtro y la tasa de desgaste de la maquinaria. Para añadir valor para eso, muchos filtros de alto rendimiento ofrecen una mejorada capacidad para retener polvo y suciedad. (Retienen más contaminantes que otros filtros del mismo tamaño).



**Figura N° 25: Tiempo Óptimo de Cambio de Filtro.**

Ref. Anderson, Manual de Análisis de Aceites de Noria.

### **1.7.3 Selección de Filtros**

Los filtros son medidos sobre la base de su habilidad para separar contaminantes de ciertos tamaños desde un fluido bajo condiciones de operación específicas.

Para seleccionar el óptimo filtro para cualquier aplicación se deben analizar tres áreas de desempeño.

**i) Eficiencia Absoluta o Porcentaje de Eficiencia.**

**ii) Capacidad de Retención de Partículas. (DHC)**

**iii) Caída de presión del elemento (filtro) a una eficiencia absoluta específica.**

#### **1.7.3.1 Eficiencia Absoluta de Remoción de Partículas. Ex(c)**

Esto es con respecto a un tamaño definido de partícula.

Por ejemplo si  $E_{10} = 75\%$ , esto significa que el filtro tiene una eficiencia del 75% removiendo (o separando) partículas iguales o mayores a 10 micrones.

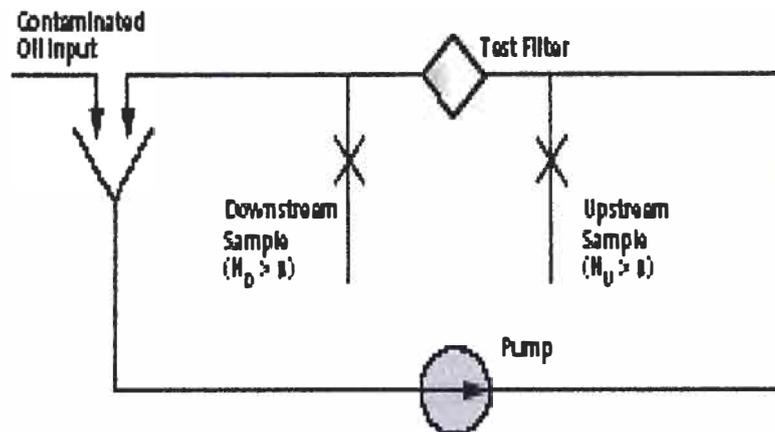
#### **1.7.3.2 Capacidad de Retención de Partículas. (Dust Holding Capacity) (DHC)**

Cantidad medida de contaminantes (expresado en gramos) que el filtro puede retener antes de que entre en derivación.

Generalmente esta capacidad indica cuanto el filtro puede ser operado hasta que necesite ser reemplazado.

Esta es una prueba de laboratorio que es muy difícil compararla en forma práctica (real), pero esto ofrece una relativa comparación entre diferentes fabricantes de filtros siempre y cuando las condiciones de la prueba son las mismas. Esto quiere decir que este parámetro puede ser usado para seleccionar filtros y cuanto más alto sea su valor (a las mismas condiciones de eficiencia y caída de presión) es más recomendado.

(1) Y (2) son determinados usando el Multipass Test, Standard ISO 16889 el cual reemplaza al obsoleto ISO 4572.



**Figura N° 26: Esquema Multipass Test, Standard ISO 16889**

Ref. Schroeder Industries.

### 1.7.3.3 Caída de presión del elemento (filtro) a una eficiencia absoluta específica.

La resistencia al flujo o presión diferencial muestra cómo ocurre la caída de presión a través del filtro o cuánta resistencia al flujo el filtro le imparte al sistema. Esta resistencia, algunas veces referida como la caída de presión o  $\Delta P$ , tiene una directa relación sobre la vida del filtro. Asegúrese de anotar la viscosidad y el flujo del fluido usado en determinar este criterio.

Cuando seleccione un filtro es importante considerar la inicial Presión diferencial ( $\Delta P$ ) a través de elemento. Por esta razón los filtros que ofrecen una baja caída de presión a una alta tasa Beta (alta eficiencia) son mucho mejores que filtros con un alto  $\Delta P$  a la misma tasa Beta.

### 1.7.4 Balance de Partículas

Es importante mencionar que en un momento dado, la concentración de partículas en el aceite es <sup>21</sup>:

$$C_{\text{aceite}} = C_o + C_{\text{Entra}} + C_{\text{Gen}} - C_{\text{Eliminada}} \quad \dots (9)$$

<sup>21</sup> Páramo, José; 2006; Interpretación sistemática del análisis de aceite – Técnica SACODE; Noria Latín América.

**Donde:**

<b><math>C_{\text{aceite}}</math>:</b>	<b>Concentración de partículas en el aceite.</b>
<b>Co:</b>	<b>Concentración inicial de partículas en el aceite.</b>
<b><math>C_{\text{Entra}}</math>:</b>	<b>Concentración de partículas entrantes. (Contaminación externa)</b>
<b><math>C_{\text{Gen}}</math>:</b>	<b>Concentración de partículas generadas.</b>
<b><math>C_{\text{Eliminada}}</math> :</b>	<b>Concentración de partículas eliminadas en el filtro.</b>

Ref. Páramo José, Noria Corporation

La concentración inicial de partículas en el aceite puede provenir del aceite nuevo cuando se hace un cambio de aceite o un relleno.

Las partículas de entrada son las que provienen de la contaminación externa y pueden entrar al sistema lubricado por el tapón de llenado, por los sellos, por el respirador del reservorio del lubricante, etc.

Un contaminante es cualquier material extraño o sustancia no deseada que puede tener un efecto negativo en un sistema en operación, su vida o confiabilidad.

Los contaminantes de que se menciona entonces son partículas sólidas, humedad, aire, combustible, productos químicos (anticongelante, etc.) y otros materiales ajenos al sistema. La mayor parte del desgaste proviene de las partículas sólidas.

Un estudio de la Universidad de Oklahoma establece que en un sistema común ingresan de 10 a 100 millones de partículas mayores a 10 micras y esto sólo en un minuto. Por lo general la vida de las maquinarias depende de una película lubricante menor a 10 micras.<sup>22</sup>

Las partículas generadas son aquellas que se generan en el interior del sistema lubricado y pueden ser gomas, barnices, producidas por el deterioro del aceite base, hollín, partículas de desgaste, etc.

La parte más crítica es que por cada partícula que ingresa al sistema, se producen aproximadamente 10 partículas más, entre las que se dividen y las que se generan por el desgaste.

Entonces se puede afirmar que:

---

<sup>22</sup> Trujillo, Gerardo; 2001; Implementación de un Programa de Mantenimiento Proactivo.

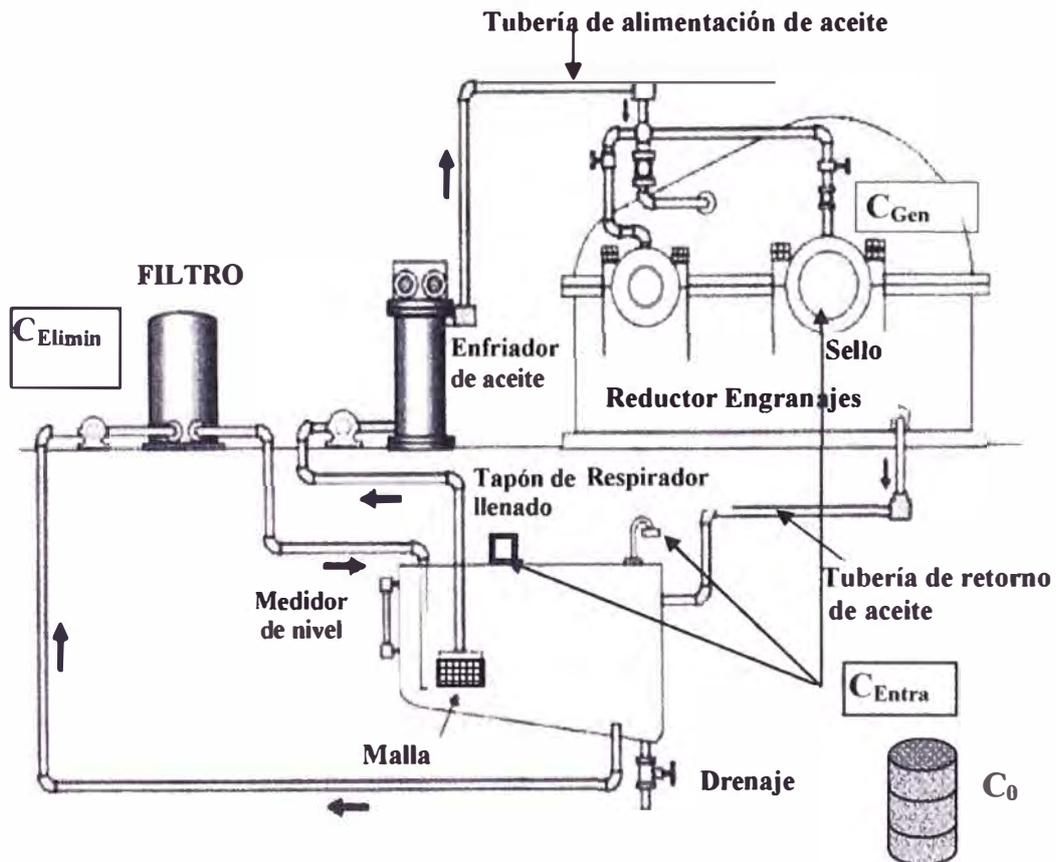
$$C_{Gen} \approx 10C_{Entra} \quad \dots (10)$$

Por tanto

$$C_{aceite} = C_0 + 11C_{Entra} - C_{Eliminada} \quad \dots (11)$$

Por lo cual, para alcanzar un adecuado nivel de limpieza, será importante el punto de partida, controlar la cantidad que ingresan y eliminar las que se generan, es decir, se debe de alcanzar un cierto equilibrio, asumiendo que el ingreso está controlado.

Si no se puede alcanzar este equilibrio entonces se puede producir una reacción en cadena del desgaste.



**Figura N° 27: Contaminación por Partículas. Origen de contaminación de sólidos.**

Ref. James C. Fitch, Wills

### 1.7.5 Reacción en Cadena del Desgaste

#### ¿Qué es la reacción en cadena del desgaste?

- El proceso de desgaste produce partículas y estas al fragmentarse producen más partículas aún más pequeñas.<sup>23</sup>
- Si la contaminación por partículas no es controlada entonces la progresiva acumulación de partículas generará una cantidad crítica de partículas que producirá una reacción en cadena de desgaste de forma exponencial.

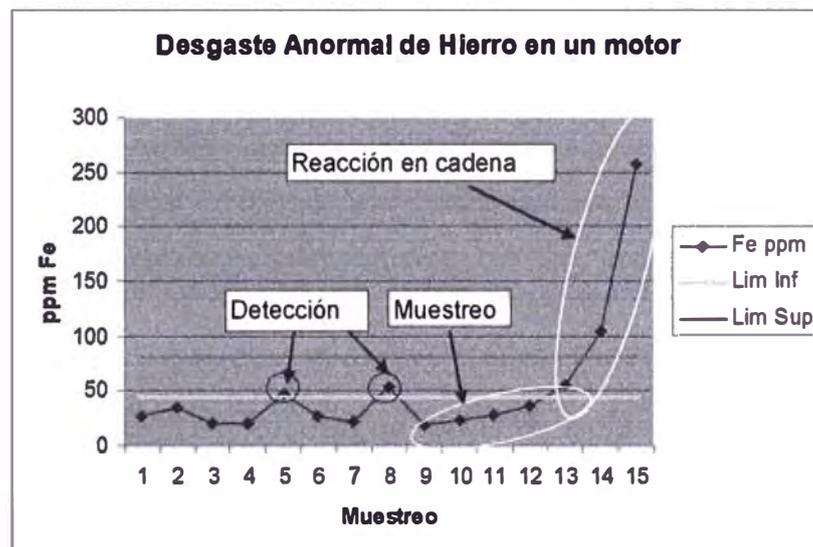


Figura Nº 28: Cómo se genera una reacción en cadena del desgaste

### 1.7.6 Sistemas de Filtración de Alta Eficiencia

La Eficiencia de filtración es la medida de la habilidad de un elemento filtrante a remover las partículas sólidas del fluido de trabajo utilizado.

No hay una norma internacional que determine cuando un filtro y sus rangos de tamaño de filtración respectivos para que se denominen de alta eficiencia, esta denominación se debe principalmente a los esfuerzos conjuntos de los departamentos de Investigación y Desarrollo y de Marketing de las empresas fabricantes de filtros, pero aun así la denominación Filtro de alta Eficiencia se usa con mucha regularidad y su desempeño sobre los filtros convencionales o estándar son evidentemente superiores.

<sup>23</sup> Separation Technologies; 2000. Principles of Filtration; USA.

La empresa Caterpillar tiene una clasificación en función al tamaño de la partícula más adecuada que puede ser usada como referencia.

**Tabla N° 12: Clasificación de filtros en función al tamaño de partícula.**

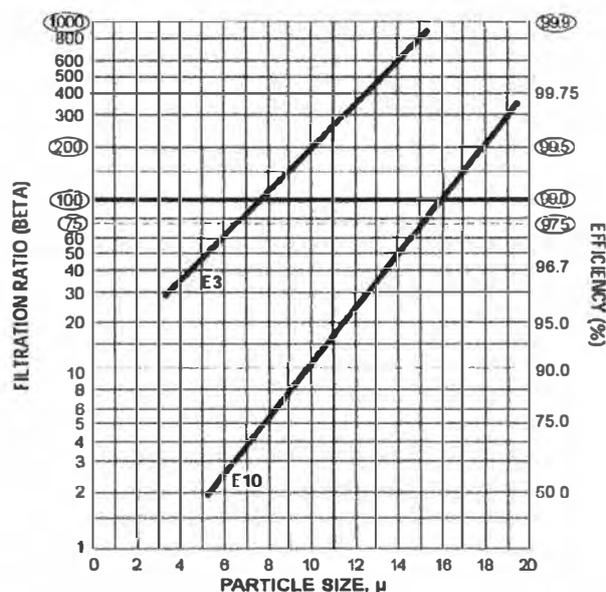
Ref. Caterpillar, Cat Filter and Fluid Application Guide

Filtro	Rango de tamaño
Estándar	28-40 micrones
Avanzado	11-27 micrones
Alta Eficiencia	3-10 micrones

**Filtros Standard.-** Son diseñados para mantener a los sistemas limpios en la mayoría de aplicaciones y en equipos de trabajos livianos. (28-40 micras).

**Filtros Avanzados.-** Protege a los sistemas contra el acelerado desgaste con medios filtrantes especiales que brindan una mayor protección en moderadas a severas condiciones. (11 – 27 micras).

**Filtros de Alta Eficiencia.-** Presentan un medio filtrante súper fino (4 – 10 micras) que remueve una muy alta proporción de partículas pequeñas (finas) para un óptimo control de la contaminación en moderadas a severas aplicaciones.



**Figura N° 29: Eficiencia de un filtro Estándar vs uno de alta eficiencia.**

Ref. Schroeder Industries.

### 1.7.7 Integridad de Filtros según la Media Filtrante

En general, si se comparan dos filtros, uno de celulosa y otro de fibra de vidrio del mismo tamaño en micras se tiene lo siguiente:

#### 1. Ventajas del de Fibra de Vidrio:

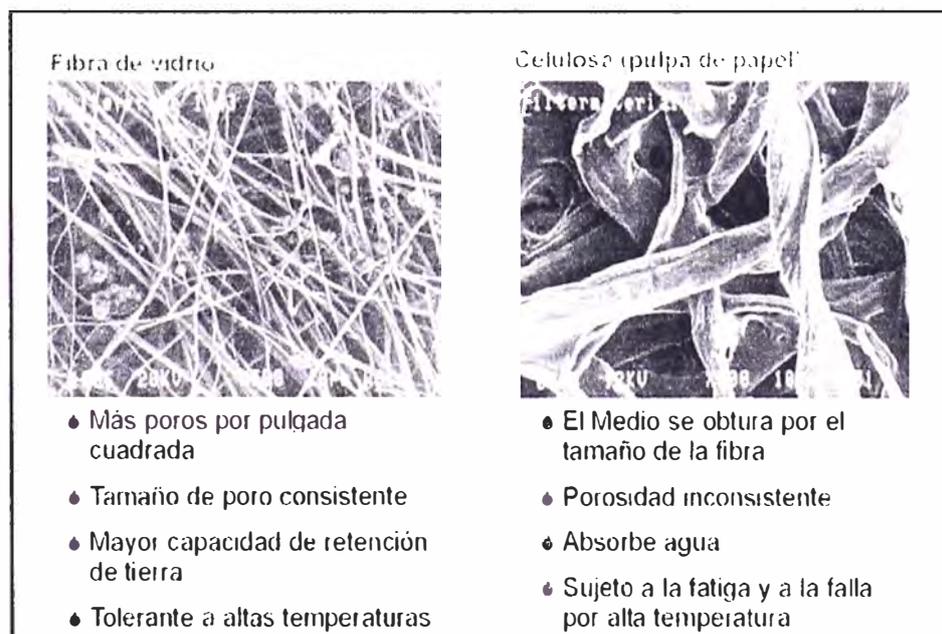
- \*Más poros por pulgada cuadrada
- \*Tamaño de poro consistente
- \*Resistencia a altas temperaturas
- \*Resistencia al agua

#### 2. Características del de Celulosa:

- \*Porosidad inconsistente
- \*Absorbe agua
- \*Sujeto a fallas por fatiga
- \*Sujeto a fallas por altas temperatura
- \*Sujeto a fallas por AN alto

Normalmente fallan (en condiciones iguales de operación) antes que los de fibra de vidrio

Debido a la mayor consistencia en tamaño de poro y tener más poros por pulgada cuadrada, normalmente se espera mayor eficiencia del filtro de fibra de vidrio.



**Figura N° 30: Integridad de Filtros según la Media Filtrante**

## **1.8- Control de la Contaminación en los Aceites Lubricantes.**

Sistema de planeación, organización, administración e implementación de todas las actividades requeridas para determinar, alcanzar y mantener un determinado nivel de contaminación o nivel de limpieza (expresado por el código ISO 4406) en los fluidos que usan las maquinarias, sean lubricantes, fluidos hidráulicos, anticongelante, combustibles, etc.

No se puede referirse al Control de la Contaminación sin mencionar al Mantenimiento Proactivo, ya que este se fundamenta en el Control de la Contaminación. El Mantenimiento Proactivo es un tipo de Mantenimiento Basado en Condición que está dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria.<sup>24</sup>

La vida útil de las maquinarias depende de que los factores que causan las fallas sean mantenidos dentro de límites aceptables, para ello se debe detectar estas causas y aplicar acciones correctivas para eliminarlas y prevenir sus efectos, entre los que se cuenta la peligrosa reacción en cadena del desgaste que si no es controlada a tiempo repercute en la generación de fallas de los equipos.

### **1.8.1 Fases del Control de la Contaminación**

**1.8.1.1 Fase de Transición.** Fase de sensibilización al personal.

**1.8.1.2 Formación y Capacitación.** En esta etapa el personal de mantenimiento debe ser capacitado en diversas materias como, técnicas de cambio de aceites, lubricación básica, Filtración y los fundamentos del Control de la Contaminación entre otros.

**1.8.1.3 Selección de Maquinarias con las que se iniciará el Programa de Control de la Contaminación.** Aquí se deben elegir los equipos más críticos cuyas fallas repercuten fuertemente en gastos asociados a fallas.

---

<sup>24</sup> Hart, M. 2006. Análisis de Aceites como una Herramienta de Mantenimiento Predictivo; en Practicing Oil Analysis Magazine.

Antes de iniciar el programa, se deben registrar las condiciones actuales de las maquinarias. Se debe medir la concentración y tamaño de partículas, la cantidad de humedad y la temperatura del aceite de su maquinaria. Si se conoce estos datos desde el principio se facilitará la medición comparativa del ahorro una vez ya implementado el Programa. Para esto se debe usar la **Ficha de Evaluación de Equipos para Monitoreo de Condición (Ver Anexo D)** para registrar los datos siguientes antes de iniciar el Programa: El componente evaluado, el aceite usado, los parámetros operativos, el medioambiente de operación, el código ISO del nivel de limpieza inicial, el número de identificación de la muestra de aceite respectiva y demás datos relevantes.

### **1.8.2 Implementación del Control de la Contaminación.**

Se utilizará los tres pasos del mantenimiento proactivo ya que el control de la contaminación es la base de este tipo de mantenimiento.

#### **1.8.2.1 Establecer objetivos para los niveles de limpieza de contaminantes.**

Aquí se debe fijar para cada uno de los fluidos lubricantes de las maquinarias, un objetivo de limpieza, utilizando el código ISO 4406-99, Se debe medir el nivel de limpieza inicial del conteo de partículas efectuado en "Fase de Transición" y luego se debe comparar con el objetivo. El objetivo debe ser un nivel mayor de limpieza.

#### **1.8.2.2 Determinar las acciones a tomar para lograr los objetivos de limpieza.**

Se deben establecer las acciones para evitar y controlar el ingreso de partículas en el sistema y designar las responsabilidades respectivas.

**Se utilizan dos Estrategias:**

**1) Exclusión:** Evitar que las partículas contaminantes ingresen a los componentes de las maquinarias.

**2) Remoción:** Si han ingresado las partículas contaminantes entonces se las debe de retirar rápidamente.

Para más detalles ver el acápite 3.2.2

### **1.8.2.3 Medir los Niveles de Limpieza Códigos ISO de los lubricantes.**

Si se puede medir, se puede controlar. Entonces en función de los valores que reporten los análisis de aceites, de los códigos ISO, de los niveles de agua, del nivel de algún otro contaminantes se aplicarán las acciones específicas al lubricante y su aplicación para minimizar y controlar los efectos que estos puedan causar a las maquinarias. Estas acciones permitirán verificar el desempeño de filtros, condición de sus componentes, rotura de sellos, decidir si se utiliza dialización, condición de los respiradores, etc.

## **1.9- Interpretación de Resultados de Análisis de Aceite.**

### **1.9.1 Pautas básicas para interpretar los resultados de análisis**

El fin primordial del análisis de aceite es informar sobre una condición anormal o el inicio de falla incipiente, por ello todo Programa de Análisis de Aceites debe contar con una adecuada interpretación de los resultados ósea sobre la base de las indicaciones analíticas saber exactamente qué significado tienen los resultados y que permita fácilmente reconocer los problemas y tomar las medidas necesarias para poder controlar o minimizar los efectos potenciales de una falla en el equipo.

En la siguiente tabla se presenta una breve lista de problemas detectados con el análisis de aceites.

**Tabla N° 13: Lista de problemas detectados con el análisis de aceites.**  
 Ref. Internorman. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

<b>Problema Detectado</b>	<b>Análisis Realizados</b>	<b>Consideraciones Operativas</b>
<b>Lubricante equivocado</b>	Cambios en la viscosidad, IV, punto de inflamación, elementos de aditivos, FTIR, TAN, TBN.	Cambio en la temperatura del rodamiento de bolas. Desgaste de rodamiento de bolas o ruido. Vuelta de flecha difícil
<b>Deterioro del aceite básico</b>	Incremento de viscosidad, TAN, conteo de partículas o partículas ferrosas.  Decremento de TBN.  Cambio en el IV.	Pobre separación de agua aceite. Aire atrapado, formación de espuma. Olor desagradable, formación de lodo o barniz. Oscurecimiento del aceite. Prueba de papel de filtro amarillo-café.
<b>Contaminación con agua.</b>	Incremento de: viscosidad, TAN, concentración de Ca, Mg y/o Na  Degradación de aditivos. Prueba de crujido.  Pruebas de papel de filtro.	Aceite nebuloso, opacidad, agua batida/ separada, formación de lodos. Evidencia de desgaste, corrosión. Filtros: Papel ondulado, alta caída de presión, vida reducida. Atascamiento de válvulas.
<b>Agotamiento de aditivos.</b>	Decremento del TAN, del ZDDP. Incremento de viscosidad, TAN, conteo de partículas. Incremento de oxidación, sulfatación y/o nitración.	Oscurecimiento del aceite.  Olor desagradable,  Operación caliente.
<b>Aire atrapado</b>	Incremento de: viscosidad, TAN, agua y/o FTIR para oxidación. Antiespumantes de silicio muy altos o bajos. Prueba de papel de filtro: Carbón coquizado en la membrana.	Aceite nebuloso/ exhumación. Incremento en la temperatura del aceite. Sistemas hidráulicos esponjosos, lentos, cavitación en la bomba/ rodamiento de bolas, operación ruidosa.
<b>Falla de filtro</b>	Incremento de silicio, aluminio, conteo de partículas y/o hierro	Atascamiento de válvulas. Rodamientos ruidosos. Presión diferencial en los filtros alta o sin cambio. Fallo frecuente de rodamiento de bolas, altos niveles de sedimento en el fondo.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra en forma simplificada cómo se realiza la interpretación de los resultados.

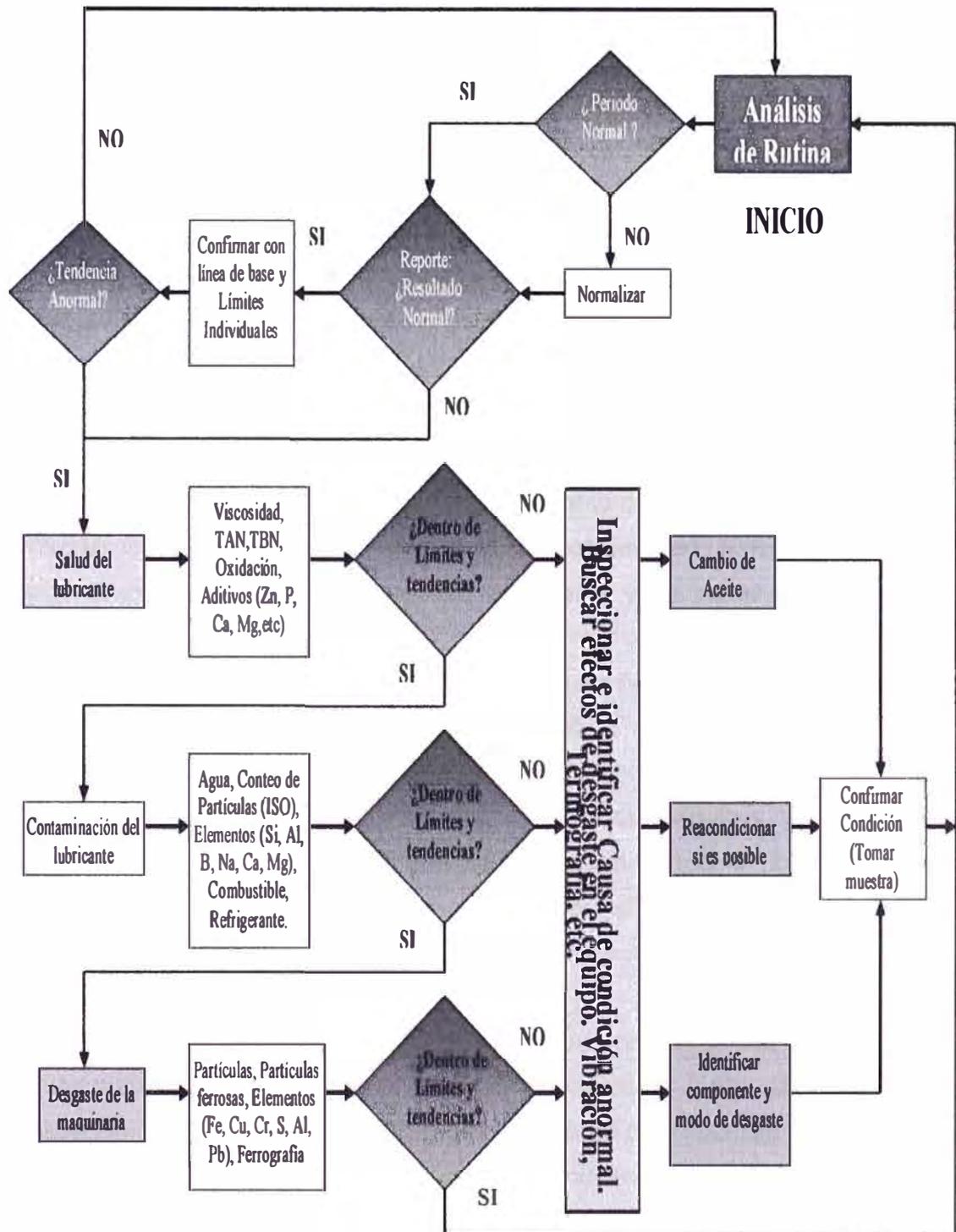


Figura N° 31: Forma simplificada de interpretación de los resultados.

## **CAPITULO II: DISEÑO DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES**

Desarrollar un programa eficaz de Análisis de Aceites requiere un planeamiento cuidadoso. Muy a menudo cuando los directivos de una organización deciden invertir en análisis de aceite, ellos pueden instalar un laboratorio propio o pueden elegirlo externamente y entonces comienzan a enviar muestras sin detenerse a pensar de lo que realmente están intentando alcanzar, sin plantearse objetivos concretos y mensurables. Esta forma de iniciar la relación con el análisis de aceites es una receta garantizada para el fracaso. En lugar, el programa deberá ser desarrollado con una estrategia cuidadosa basada en el sitio sobre una serie indicada de metas de confiabilidad.<sup>25</sup>

La estructura total y el fundamento de un programa del análisis de aceites deben basarse en metas sólidas de ingeniería de confiabilidad. Estas metas deben dirigir al usuario a través del proceso de diseñar y de poner el programa en ejecución.

Por ejemplo, si una planta ha experimentado una historia de fallas de bombas hidráulicas que se cree estar relacionado con la contaminación fluida, cada aspecto del programa del análisis del aceite, de la localización de la válvula para la muestra a tomar, de la selección de las pruebas y análisis, y acerca de la designación de los objetivos y límites se debe gobernar por el objetivo indicado de la confiabilidad - en este caso, prolongando el tiempo medio entre fallas (MTBF) de las bombas.

Utilizando estos objetivos de confiabilidad y relacionándolo con un análisis de causa raíz de fallas históricas de los equipos, basado en el tipo componente y la aplicación, permite obtener la lista de pruebas físico-químicas, las frecuencias de muestreo, los objetivos y los límites que se seleccionarán.

Mientras que la experiencia del laboratorio en desarrollar programas eficaces de análisis de aceites, puede ser usado para apoyar el proceso del diseño, es en

---

<sup>25</sup> Barnes, Mark; Enero 2004; Designing a World-Class Oil Analysis Program; en Practicing Reliability World.

última instancia la responsabilidad del usuario asegurar que el programa coincida con las metas y los objetivos de confiabilidad de la compañía. En detalle, la atención se debe prestar a los tipos de métodos de prueba usados por el laboratorio bajo diversas circunstancias. En programas mal diseñados, en donde la selección del laboratorio y de las pruebas son conducidas a menudo por el costo por muestra, el postor de más bajo precio, es típicamente el laboratorio elegido. Sin embargo, por este mismo motivo la selección de las pruebas de análisis de aceite puede incluir pruebas que proporcionan poco a ningún valor, o que no se incluyan pruebas que si son verdaderamente necesarias.

Por ejemplo, si el laboratorio es simplemente consultado para realizar una prueba de contaminación con agua, el laboratorio está en la libertad para utilizar cualquier método, desde una prueba de crujido simple, FTIR, hasta una prueba de humedad por el método de Karl Fischer. Dependiendo de los objetivos de confiabilidad, es que se puede seleccionar la prueba más adecuada. Si se desea simplemente una prueba de pasa/no pasa para agua libre y emulsionada, entonces la prueba del crujido es conveniente y es probablemente la más barata. Sin embargo, si se requiere una respuesta cuantitativa, pruebas más sofisticadas son requeridas: Transformadas de Fourier por espectroscopia infrarroja (FTIR) o Karl Fischer.

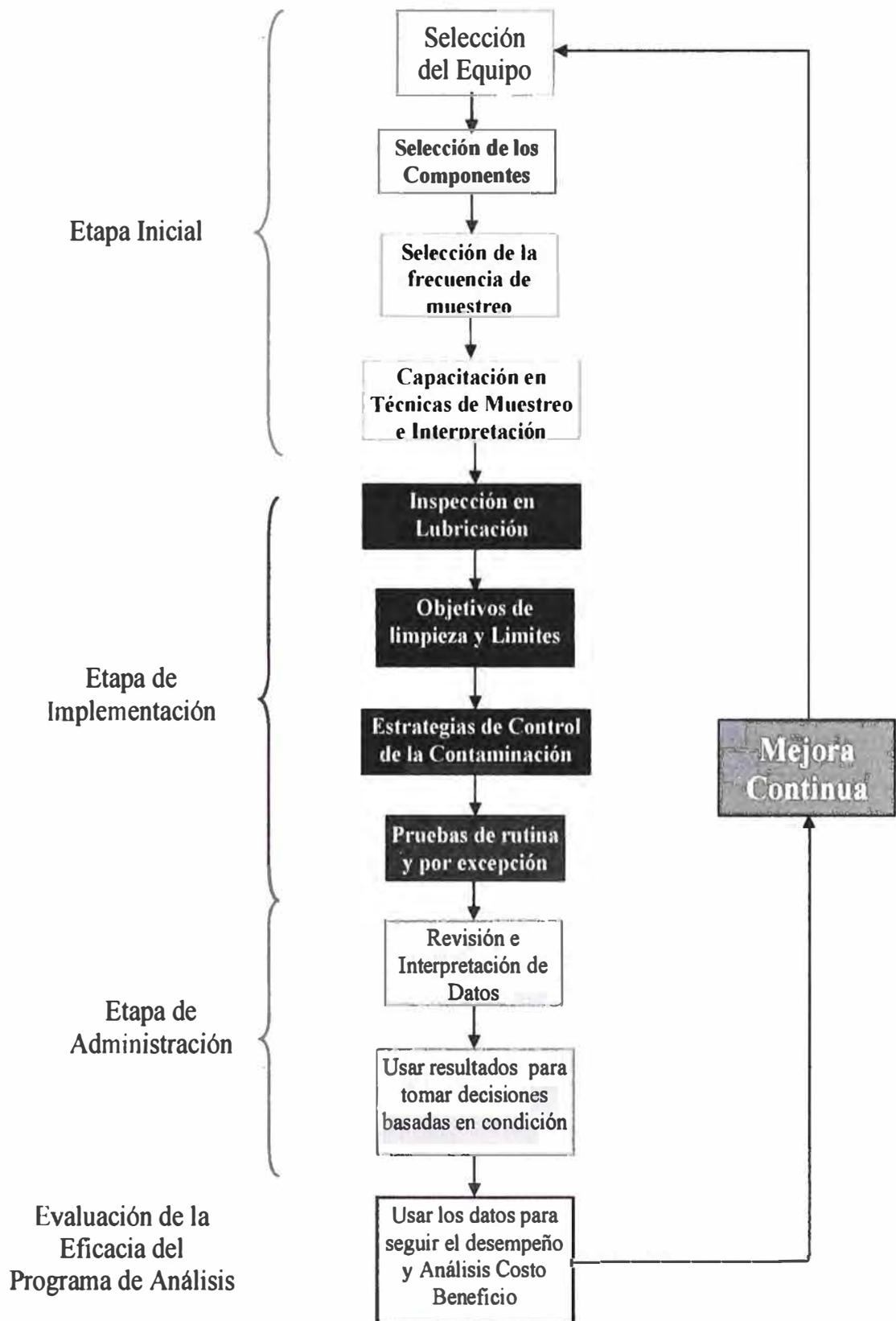
Resumiendo, el diseño del programa incluyendo la lista de pruebas de análisis y el procedimiento de selección es dependiente de las metas de confiabilidad definidas por el usuario final.

**El Programa de Análisis de Aceites es diseñado en tres pasos.**

**Etapa Inicial**

**Etapa de Implementación**

**Etapa de Administración**



**Figura N° 32: Diseño del Programa de Análisis de Aceites Lubricantes**

Ref. Barnes, Mark; Designing a World-Class Oil Analysis Program.

## **2.1- Etapa Inicial del Programa de Análisis de Aceite.**

### **2.1.1- Definición de los objetivos de Confiabilidad para el Programa de Análisis de Aceite.**

Los objetivos de confiabilidad para el presente Programa son los siguientes:

- a) Aumento del Nivel de Limpieza en los fluidos lubricantes.
- b) Aumento de la Disponibilidad de Maquinarias.
- c) Incremento de la vida útil de las maquinarias.
- d) Extensión del periodo de utilización de los lubricantes.

### **2.1.2 Selección de los equipos mecánicos críticos y de sus componentes a ser considerados en el programa de análisis de aceites.**

Para la selección de los equipos se debe realizar el análisis de criticidades, este análisis sirve para crear una jerarquía que nos facilite la toma de decisiones acerca de sobre qué elementos se debe actuar con mayor prontitud, sobre los cuales se deben dirigir los recursos y esfuerzos de la organización con el fin de ser más competitivos.

Para esto se debe revisar los datos históricos de fallas de equipos que provocan paradas repentinas de planta o de la operación de maquinarias.

La selección de la maquinaria y de sus componentes se debe hacer en función de <sup>26</sup>:

- 1. Importancia en el Proceso productivo.**
- 2. Costo por Tiempo de Parada.**
- 3. Riesgos Asociados a la Seguridad.**

#### **2.1.2.1 Importancia en el Proceso productivo.**

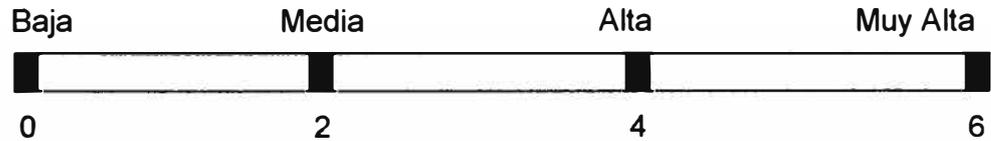
Aquí se debe determinar qué equipos son potencialmente más importantes en el proceso productivo y cuya falla puede provocar altas pérdidas económicas.

Se debe tomar en consideración:

- a) ¿Cuál es el desempeño esperado del componente o equipo?
- b) ¿Cómo puede dejar de cumplir las expectativas de desempeño?

---

<sup>26</sup> Trujillo, Gerardo; 2001; Implementación de un Programa de Mantenimiento Proactivo



**Figura N° 33: Calificación para selección de equipos en función a su importancia en el proceso productivo.**

Ref. Fuente Propia.

### 2.1.2.2 Costo por Tiempo de Parada

La evolución de las operaciones de mantenimiento ha pasado necesariamente primero por el mantenimiento del tipo correctivo seguido por el de tipo preventivo, un requerimiento para esto último es que las empresas tengan un registro contable de los gastos ocasionados por fallas de sus equipos en sus distintos procesos productivos, mejor aún si tienen implementado un sistema de gestión de costos basado en la calidad que permita monitorear las fallas internas relacionándolas a un centro de costos con el objetivo de determinar rápidamente el costo asociado a un evento de falla.

Para seleccionar a los equipos se procederá de la siguiente manera:

**Primero** se debe buscar el costo histórico asociado a la falla que haya generado el monto más alto de pérdidas. Para esto se debe de considerar:

Gastos por reparaciones y repuestos empleados.

- Los gastos por mano de obra de personal de planta.
- Los gastos por mano de obra de contratistas especializados.
- Costo de oportunidad.
- Costos por seguros.
- Costos por incidentes relacionados a la seguridad.

Con todos estos datos se obtiene el Costo Máximo Histórico de Fallas.

**Segundo.**

Determinar el Costo real o potencial de Paro de Equipo, esto para un equipo cualquiera que haya fallado o que posiblemente falle.

**Costo de Paro de Equipo en US\$/día o US\$/ hora ..... A**

Se debe contar o estimar la duración promedio del paro.

**Duración Promedio del Paro. Días / horas ..... B**

Se determina el Costo por Falla multiplicando A\*B

$$\text{Costo por Falla} = A \times B \quad \dots (12)$$

### Tercero

Se divide el Costo por falla entre el Costo Máximo Histórico de Fallas y se determina el factor f.

$$f = \frac{\text{Costo por Falla}}{\text{Costo Máximo Histórico de Fallas}} \quad \dots (13)$$

Donde f Factor de Costo Relativo por Falla

**Tabla N° 14: Ponderación por factor de costo relativo por falla para seleccionar equipos en función al costo por tiempo de parada.**

Ref. Fuente Propia.

f	Ponderación
< 0.1	1
0.1- 0.3	2
0.31 – 0.70	4
0.71 – 1.00	6
> 1 ( )	6

\* Sólo se aplica en el caso de que el costo por Falla supere al Costo Histórico Máximo por fallas.

### **2.1.2.3 Riesgos Asociados a la Seguridad.**

Para determinar los equipos según criterios de seguridad se aplicará el análisis del Valor Esperado de la Pérdida (V.E.P.).<sup>27</sup>

Algunas tareas presentan un riesgo inherente mayor que otras. Aquellas tareas en las cuales los trabajadores pueden estar expuestos a niveles de riesgo no aceptables deberían ser el foco de los esfuerzos para la eliminación o reducción del mismo.

Toda tarea con historial de pérdida ya sea al trabajador, a otras máquinas de trabajo, o a problemas de calidad o producción deben considerarse como tareas de alto riesgo. Para ser proactivos antes que reactivos, también deberán incluirse aquellas tareas que presenten un alto potencial de pérdida, aunque la misma nunca haya ocurrido.

Para evaluar una tarea de alto riesgo se considera el análisis del V.E.P. (Valor Esperado de la Pérdida) el cual emplea la siguiente fórmula:

$$\text{V.E.P.} = \text{S} \times \text{P} \times \text{fn} \quad \dots (14)$$

**Donde:**

**S = Severidad (S) de las pérdidas Potenciales.**

**P = Probabilidad (P) de pérdida ante una tarea específica o Potencial.**

**fn = Factor de incidencia.**

#### **Severidad**

La severidad se puede resumir en los costos que ocurrieron o podrían ocurrir como resultado de un mal estado de conservación de un equipo o por una mala operación de mantenimiento. En la mayoría de los casos existen muchas pérdidas que pueden ocurrir, pero solo se deben considerar aquellas con mayor probabilidad de ocurrencia.

---

<sup>27</sup> Manual de Seguridad y Prevención de Pérdidas; 1997 Minera Yanacocha, Cajamarca; Perú.

En la siguiente tabla se muestra en forma simplificada los valores asignados a la severidad.

**Tabla N° 15: Cuantificación asignada a la severidad.**  
Ref. Fuente Propia.

Severidad	Costo de la Pérdida	Valoración
Menor	Entre 100 y 1000 US\$	0.5
Seria	1000 – 10000 US\$	1
Mayor	Mayor a 10000 US\$ o fatalidad	2

### Probabilidad

La probabilidad es la cuantificación del riesgo inherente a la condición de los equipos con los que cuenta la planta.

La probabilidad de que se produzca una pérdida cada vez que se ejecute una tarea en particular puede verse influenciada por los siguientes factores.

**Tabla N° 16: Cuantificación asignada a la Probabilidad.**  
Ref. Fuente Propia.

Probabilidad	Frecuencia	Valoración
Baja	No ha ocurrido hasta ahora	1
Moderada	Ha ocurrido alguna vez	2
Alta	Ha ocurrido varias veces	3

Si no se toma en consideración el factor de incidencia .

$$\text{V.E.P.} = \text{S} \times \text{P} \quad \dots (15)$$

Entonces se puede construir la siguiente tabla.

**Tabla N° 17: Cuantificación del Riesgo por Seguridad**  
Ref. Fuente Propia.

Rango de Riesgo	Puntaje V.E.P.
Alto Riesgo	5-6
Moderado Riesgo	3-4
Bajo Riesgo.	0.5-2

Resumiendo los equipos (y sus componentes) seleccionados para el Programa de Análisis de Aceites son aquellos que según los tres aspectos considerados presentan calificación alta.

Los equipos seleccionados se registran en el formato de **Registro de Equipos. Ver Anexo E**

### 2.1.3- Elección de las pruebas de análisis de aceite según los equipos críticos

Habiéndose completado la selección de los equipos y sus componentes a incorporar al Programa de Análisis de Aceite se debe seleccionar la combinación óptima de pruebas de monitoreo para determinar la condición de los equipos. Según sea el uso o la aplicación de los equipos.

Los equipos industriales necesitan una combinación de las pruebas que fueron revisadas anteriormente para monitorear la condición de los equipos.

**Tabla N° 18: Pruebas para monitoreo de Equipos Industriales**

Ref. Gerardo Trujillo. Noria Latín América

Equipo	Viscosidad	TAN	TBN	Análisis Espectrométrico	Densidad Ferrosa	Ferrografía	FTIR	Conteo de Partículas ISO 4406-99	Agua
Baleros	R	N/A	N/A	R	R	A	R	A	N/A
Caja de engranes	R	N/A	N/A	R	R	A	R	N/A	N/A
Compresor	R	R	N/A	R	R	A	R	N/A	A
Hidráulicos	R	R	N/A	R	R	A	R	R	R
Motor	R	N/A	R	R	A	A	R	N/A	N/A
Motores eléctricos	R	N/A	N/A	R	R	A	R	N/A	N/A
Turbinas	R	R	N/A	R	R	A	N/A	R	R

R – Requerido

A – Aconsejable, proporciona mayores detalles durante la solución de problemas

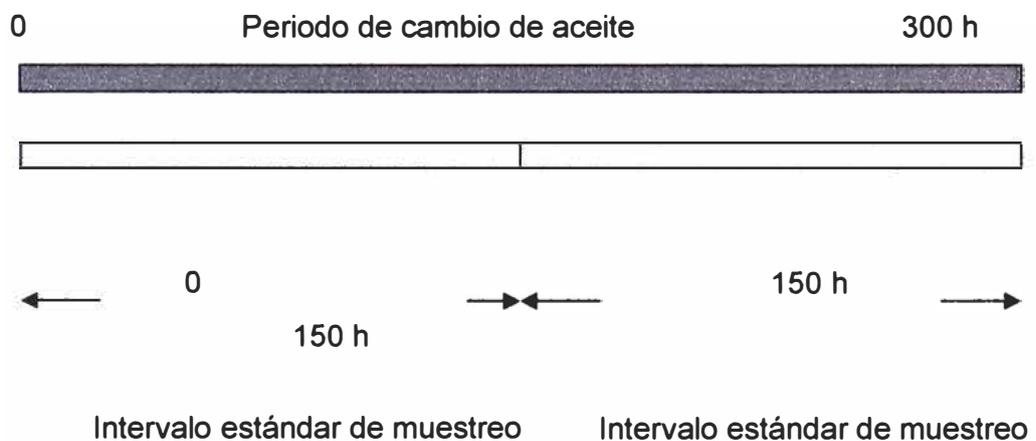
N/A – No aplicable a este tipo de equipos.

**2.1.4 Configuración del Laboratorio de Análisis de Aceites Lubricantes  
Ver ANEXO A1.**

**2.1.5 Programación del Muestreo a los Equipos Críticos Considerados**

Una vez que se han obtenido los equipos críticos o los más importantes a ser considerados en el Programa de Análisis de Aceite, se debe de establecer los periodos de muestreo para el monitoreo de la condición del lubricante, también es posible en el caso de que no se tenga establecido un periodo de cambio o reposición para cada lubricante proponer uno, ya sea el que recomienda el proveedor del lubricante u otro recomendado por instituciones reconocidas.

Por ejemplo si el periodo de cambio de aceite es de 300 h para el caso de un motor diesel, un intervalo de 150 h puede ser considerado un intervalo estándar de toma de muestra.<sup>28</sup>



**Figura N° 34: Intervalo de Muestreo para un aceite de motor.**

Ref. Diseño Propio

Por lo tanto se puede establecer la siguiente relación:

$$Frecuencia.de.Muestreo = \frac{Periodo.de.Cambio.de.Aceite}{Intervalo.Estándar.de.Muestreo} \dots (16)$$

<sup>28</sup> Trujillo, Gerardo; 2002; Interpretación de Análisis de Aceites; Obra Citada.

En este caso existen dos muestras tomadas durante el tiempo que se utiliza al aceite (300 h).

El criterio de frecuencia de muestra para cada equipo, debe ser establecido, tomando en cuenta algunas consideraciones como:

- a) El medioambiente donde trabaja el lubricante.
- b) Las pérdidas económicas por falla de los equipos.
- c) La edad de la maquinaria
- d) El tiempo de uso del lubricante
- e) Los objetivos de limpieza del lubricante
- f) El tipo de falla y el tiempo entre su inicio y su fase de falla crítica.

En general, el intervalo real de toma de muestra debe ser lo suficientemente corto para permitir que al menos dos muestras sean tomadas entre el tiempo de inicio y falla total del componente de la máquina. En la práctica, puede haber una considerable diferencia entre el intervalo de muestra estándar y el intervalo real. Si el intervalo real es mayor al intervalo estándar entonces no se está cumpliendo la programación establecida a cada equipo, en todo caso si el intervalo real es menor al intervalo estándar entonces es posible que se estén presentando fallas incipientes en los equipos. La adición de aceite de relleno a los sistemas, también diluye la concentración de partículas en el aceite, y puede enmascarar los resultados. Como norma para reducir este efecto, se recomienda que las adiciones se efectúen frecuentemente y en cantidades bajas (<10%).

Los análisis de laboratorio a los aceites usados se deben llevar a cabo teniendo en cuenta una programación periódica de toma de muestras para su análisis y el re-análisis cuando sea necesario. Ningún programa de muestreo tendrá éxito, si un aceite que presenta algo anormal no se vuelve a analizar una o más veces dentro del intervalo estándar del muestreo para investigar más a fondo las causas de un problema que se puede presentar a mediano ó a largo plazo en el equipo. Por ejemplo, este puede ser el caso del aceite de un sistema hidráulico que se analiza cada dos meses y que en el último análisis presentó un alto contenido de agua, pero que para llevar a cabo los correctivos necesarios se espera el próximo análisis de laboratorio

(dentro de dos meses) lo que implica demasiado tiempo de espera. En este caso el re-análisis del aceite hidráulico permitirá predecir una posible falla e implementar los correctivos que sean necesarios para evitar que ésta se presente. Siempre se debe buscar, cualquiera que sea el problema, que el análisis periódico del aceite y el re-análisis sean el mejor seguro de vida que puedan garantizar la longevidad del equipo.

**Tabla N° 19: Intervalos de muestreo Estándar o por defecto**

Ref. Gerardo Trujillo. Noria Latinoamérica

<b>Intervalo de Muestreo por Defecto</b>	<b>Horas</b>
Rodamientos	500
Enfriadores	500
Compresores	500
Turbinas de gas	500
Turbinas de vapor	500
Engranajes de baja velocidad	1000
Hidráulicos – Industriales	700
Diferenciales	300
Mandos finales	300
Engranajes industriales de alta velocidad	300
Transmisiones	300
Hidráulicos móviles	250
Motores diesel	150
Engranajes de aviación	150
Hidráulicos de aviación	150
Turbinas de aviación	100
Motores de aviación	50

### **2.1.6 Capacitación al personal involucrado de mantenimiento en técnicas de muestreo.**

Un adecuado Programa de Análisis de Aceites Lubricantes debe contar con adecuadas técnicas de muestreo que permita tomar muestras representativas de los equipos y componentes que monitorea el Programa, esto se realiza para evitar muestras erróneas que nos provea posteriormente de información falsa que pueda llevarnos a tomar decisiones equivocadas según el resultado del análisis.<sup>29</sup>

El personal que debe ser entrenado en estas técnicas se incluyen, el equipo de monitoreo, todos los técnicos mecánicos, los lubricadores e incluso pueden ser entrenados los operadores de equipos si se necesita minimizar los tiempos de envío de muestras al laboratorio.

Los objetivos de la obtención de una buena muestra son:

- Obtener el máximo de información del estado del lubricante, la posible contaminación y el desgaste de la maquinaria.
- Minimizar los errores de diagnóstico por datos equivocados producido por agentes externos.

A modo resumen a continuación presento las mejores técnicas de muestreo para lubricantes en general.

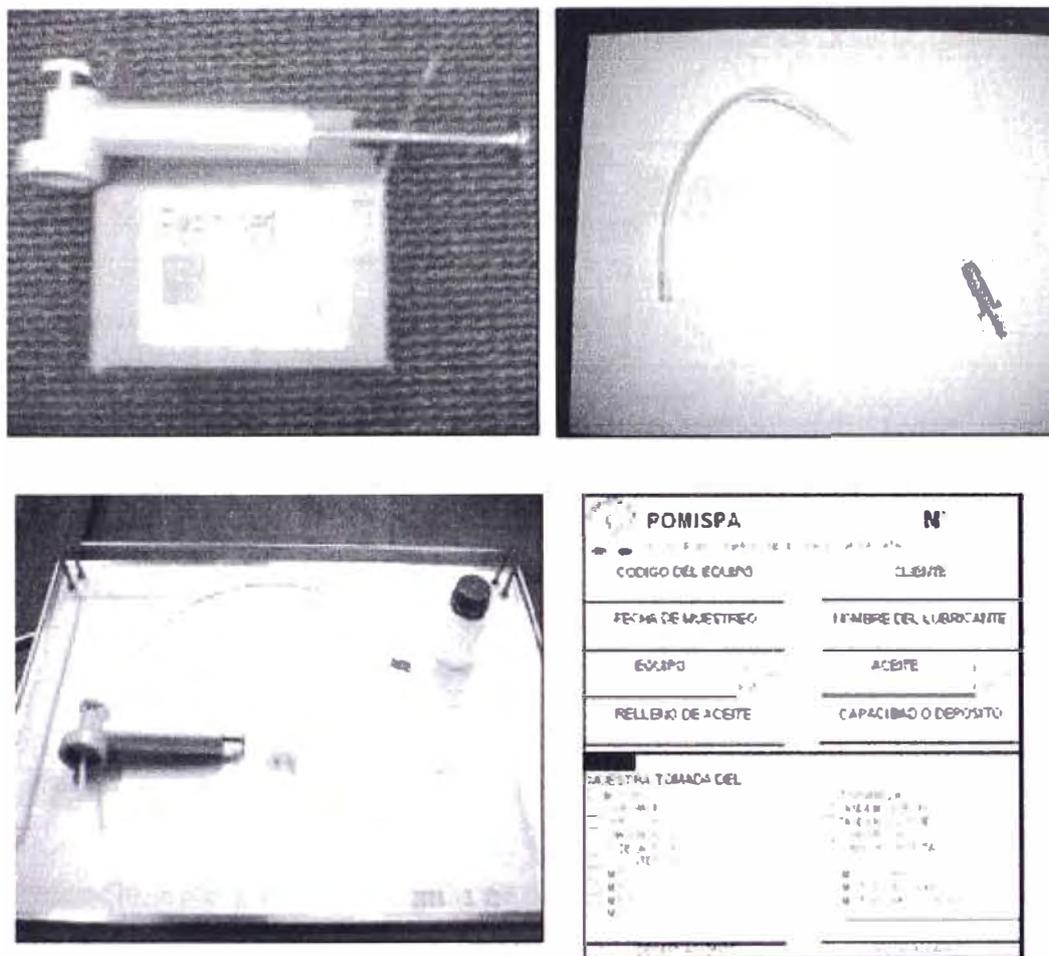
### **EQUIPO DE MUESTREO**

El equipo de muestreo consta de los siguientes elementos:

1. Botella de muestra para Aceites.
2. Manguera de extracción muestras de aceite
3. Bomba muestreadora por succión (vacío)
4. Etiquetas autoadhesivas para llenar información.
5. Conector rápido tipo Vampiro

---

<sup>29</sup> Adolfo Málaga, David; 2001; Técnicas De Muestreo De Lubricantes. España.



**Figura N° 35: Materiales de Muestreo de lubricantes.**

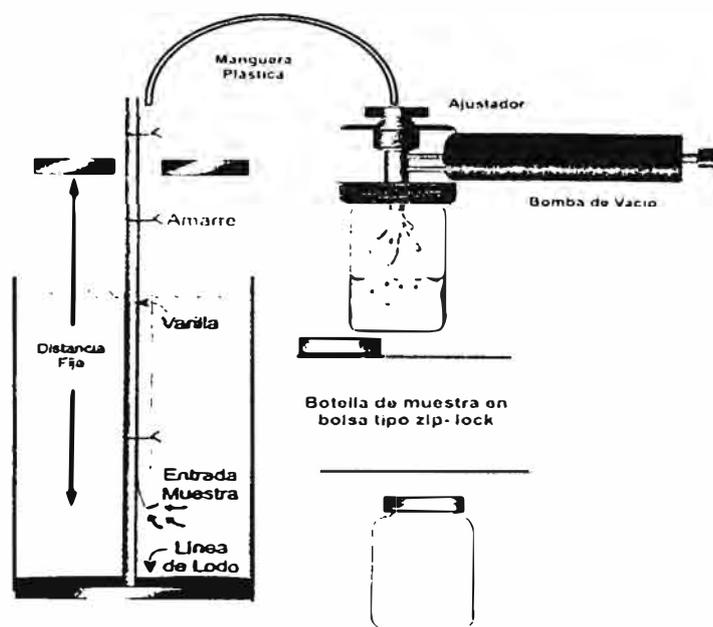
Ref. Campamento Minero Andean.

### **Método de Muestreo por Bomba De Vacío**

El método de muestreo de la bomba de vacío es el método más popular para muestrear los diferentes compartimentos de un equipo móvil.

Las muestras se pueden tomar de todos aquellos lugares en que haya una entrada al lugar por donde se encuentre el aceite como son las varillas de nivel, lugares de relleno.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Mayer, Ashley; Setiembre 2006; The Oil Sampling Dogfight; en Practicing Oil Analysis.



**Figura N° 36: Método de Muestreo por Bomba De Vacío**

Ref. Manual de Métodos de Muestreo Noria Latinoamérica.

#### **Procedimiento para la recogida de muestras**

- Limpiar adecuadamente la zona de toma de muestra con el fin de evitar la contaminación de la misma.
  - Definir la longitud del tubo de acuerdo con el punto de recogida más correcto. Introducir uno de los extremos en el adaptador superior de la bomba, de forma que se vea por el lado opuesto, justo a la entrada del frasco. Para fijar el tubo, utilizar la rosca del adaptador.
- El tubo flexible adjunto debe ser utilizado una única vez con el fin de no contaminar muestras posteriores con el aceite residual que quede introducido en el mismo.
- Enroscar el frasco en el adaptador más ancho de la bomba. Ajustarlo con precisión para evitar fugas.
  - Introducir el otro extremo del tubo en el fluido hasta alcanzar el punto de muestreo óptimo.
  - Para llenar el tubo de aceite, empujar el émbolo de la bomba. Asegurarse de que la posición de la bomba es correcta.

El vacío es formado directamente en el frasco, no penetrando en el interior de la bomba. Si la primera carrera del émbolo no ha sido suficiente, repetir la operación empujando nuevamente el émbolo.

- Cuando el aceite llegue el nivel deseado, utilice la rosca del adaptador del tubo haciéndola girar media vuelta en sentido contrario a las agujas del reloj. El fluido se detendrá inmediatamente.

- Desenroscar el bote de muestra y taponarlo, retirar el tubo de la bomba.

### **La salud y la Seguridad**

Los aceites pueden alcanzar temperaturas de 200° F particularmente en motores así siempre emplean equipo protector como guantes y lentes. El derrame de aceite puede ser peligroso así es que puede mantener a mano un equipo de derramamiento de aceite en el caso de una emergencia.

### **La higiene y la Limpieza**

El aceite es un irritante y contribuye negativamente afectando a la piel, por ejemplo la dermatitis, el eczema son algunas afecciones. Mantenga una política de salud estricta y de seguridad al manipular aceites usados. Deseche todos los materiales contaminados de manera segura y de acuerdo para las líneas directivas gubernamentales. Ver subcapítulo 4.1.3.

### **2.1.7- Capacitación para una buena interpretación de resultados a las personas usuarias de Análisis de Aceites.**

Como fue explicado en el acápite 1.9.1, la interpretación de los resultados de análisis tiene por objetivo aportar a todas las personas relacionadas con el monitoreo de condición dentro de la planta, las bases necesarias para realizar una correcta interpretación y, con ello, obtener el máximo beneficio del Análisis de Aceites; esto a través del seguimiento sistemático de las tres categorías del análisis de aceites: La Salud del Lubricante, la Contaminación del Lubricante y el Desgaste de la maquinaria.

O sea una vez que se han obtenido los reportes de análisis de aceites se procede a analizar la información a través de su **interpretación** y a proponer las acciones correctivas necesarias en caso se encontró alguna desviación para volver a una condición normal de operación a las maquinarias.<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> Smith, Mark; 2000; Taking the Mystery of Interpreting Elemental Analysis Trends.

## **2.2- Implementación del Programa de Análisis de Aceite.**

### **2.2.1- Inspección de las prácticas de lubricación y manejo de lubricantes.**

Un Programa de Análisis de Aceites es uno de los pilares de un **Programa de Gestión en Lubricación** <sup>(\*)</sup>, los otros dos pilares son el Control de la Contaminación y las Prácticas de Lubricación.

La forma más eficiente para controlar los factores que causan las fallas es implementar un Programa de Lubricación que esté fundamentado en las tres áreas claves, estas tres áreas están íntimamente relacionadas y si una falla las otras dos no podrán sostener al Programa de Lubricación por sí solas.

Las prácticas de lubricación son cuantificadas y analizadas a través de un proceso llamado Inspección en Lubricación cuya estructura es análoga a una auditoría.

Por ello para iniciar un exitoso Programa de Análisis de Aceites se debe establecer un proceso cuidadoso de análisis de las prácticas actuales en lubricación que identifica las oportunidades de mejora del proceso de lubricación y el cual va a indicar, cuál es el análisis situacional de la lubricación y va a permitir identificar las debilidades, afianzar las fortalezas y aprovechar las oportunidades de mejorar.

Este proceso establece el estado situacional de la lubricación, o sea cómo se inicia el proceso y que con el transcurso del tiempo permite comparar y medir el avance del Programa de forma que se alcance una estandarización que conduzca a la excelencia.

Las empresas que inician un Programa de Análisis de Aceites deben saber en qué estado inicial se encuentran sus operaciones conjuntas de Lubricación en sus instalaciones. Esto se hace con el fin de adecuar los criterios de confiabilidad operativa a sus operaciones de mantenimiento.

Para mayores detalles de los resultados de la Inspección en Lubricación efectuada en una operación minera remítase al **Anexo C Estado Situacional Inspección en Lubricación**

<sup>(\*)</sup> Estrategia operativa que integrada a la gestión de la empresa desde el punto de vista de gestión de activos previene y reduce la incidencia de fallas en las maquinarias lubricadas, protegiendo los activos mediante el empleo de técnicas de monitoreo de condición y la implementación de medidas de control para reducirlos o eliminarlos.



**Figura N° 37: Los tres pilares de un Programa de Gestión en Lubricación**

Ref. Diseño Propio

Es ampliamente conocido que la lubricación es una de las tareas más importantes en la conservación de la maquinaria. Sin embargo, esta actividad comúnmente es asignada a personal sin experiencia y con escasa o ninguna capacitación o a la persona con menos habilidades en el área de mantenimiento. Paradójicamente, cuando este lubricador adquiere conocimientos y efectúa mejor su trabajo, es "promovido" a posiciones de mecánico reparador o alguna otra considerada de mayor importancia, dejando el puesto nuevamente al personal nuevo que se incorpora al equipo.<sup>32</sup>

Los lubricantes una vez que llegan a su destino final en muchos casos son almacenados en lugares poco adecuados y expuestos a las inclemencias del clima y del medio ambiente, por eso es altamente recomendable que los lubricantes deben permanecer limpios durante el tiempo que dure su almacenamiento, ya que si no se observan algunas precauciones simples, los lubricantes pueden contaminarse durante el almacenamiento y trasvase desde su contenedor original a los dispositivos de relleno, con el daño subsiguiente a las maquinas. Las bombas, recipientes, pistolas de engrase,

<sup>32</sup> Molykote, 2002; Auditor para Maquinaria de Lubricación. Página web.

medidores, embudos y otro equipo de manejo de lubricantes deberán estar limpios todo el tiempo y cubierto mientras no esté en uso.



**Figura N° 38: Envases sucios sin etiquetar y junto a otros recipientes de diferente uso**

Ref. Campamento Minero Andean



**Figura N° 39: Envases de aceite debidamente etiquetados y con surtidores independientes.**

Ref. Campamento Minero Andean

Diversos estudios avalados por la STLE (Asociación de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación por sus siglas en inglés) muestran que los tipos

de fallas que ocurren en el departamento de mantenimiento sobre las cuáles se tiene muy poco o nada de control son:

- Pobres prácticas de lubricación
- Reparaciones defectuosas
- Tiempo de respuesta lento
- Falta de entrenamiento
- Programa de mantenimiento preventivo poco eficiente o mal aplicado
- Inadecuado mantenimiento de rutina.

La importancia de una adecuada lubricación, requiere de habilidades, iniciativa y por encima de todo de responsabilidad en el proceso.

Es muy frecuente que los departamentos de mantenimiento no obtengan el máximo valor de sus lubricantes. Esto no siempre se debe a la compra de lubricantes de baja calidad, sino a una práctica insatisfactoria de la aplicación del lubricante y su conservación en la maquinaria. Muchos especialistas en mantenimiento establecen que el lubricante pasa a formar parte de la maquinaria desde el momento en que se introduce en ésta, por lo tanto se debe establecer acciones que lo mantengan en buenas condiciones.<sup>33</sup>

### **2.2.2- Estrategias Para el Control de la Contaminación.**

El control de la contaminación es la base del mantenimiento Proactivo, entonces bajo el punto de vista de esta filosofía es que se debe establecer los mecanismos para evitar el ingreso de partículas en el sistema a través de mejoras en la admisión de aire a los sistemas, cambio de los respiradores y ventilación de reductores, compresores y sistemas hidráulicos, mejoras en los sellos y la instalación de estos, limpieza de los sistemas al ser reparados o instalados por primera vez para evitar que las rebabas y suciedad de la reparación o fabricación afecten su desempeño, cambios en el manejo de los lubricantes, los procesos de almacenamiento y relleno de aceites a las máquinas. De otro lado a pesar que se hayan aplicado estas operaciones de exclusión y no se haya logrado controlar su ingreso (el cual realmente es casi imposible) se debe aplicar las operaciones

---

<sup>33</sup> Trujillo, Gerardo; Abril Mayo 2007; Análisis de Aceite, una Estrategia Proactiva y Predictiva; En Machinery Lubrication Magazine. Noria Latin América.

de remoción o sea todas aquellas actividades que se relacionen con el filtrado del lubricante.

Se utilizan dos Estrategias:

**Estrategia de Exclusión:** Evitar que las partículas contaminantes ingresen a los componentes de las maquinarias.

**Estrategia de Remoción:** Si han ingresado las partículas contaminantes entonces se las debe de retirar rápidamente.

#### **2.2.2.1 Estrategia de Exclusión.**

##### **ACCIONES DE EXCLUSIÓN:**

- Evitar la admisión de aire (contaminado con partículas) a los sistemas.
- Cambio de los respiradores y ventilación de reductores, compresores y sistemas hidráulicos.

##### **Los respiradores**

La filtración de aire es tan importante como el filtro de aceite a un sistema hidráulico. La mayoría de los filtros respiradores hidráulicos son 25-40  $\mu\text{m}$ - este nivel de filtración no es adecuada para la mayoría de los sistemas hidráulicos. Estos respiradores generalmente no se dirigen cualquier humedad o nieblas que pueden estar en el aire. Es muy difícil de controlar la contaminación si el respirador está permitiendo libremente el ingreso de partículas aéreas y humedad en el sistema.<sup>34</sup>

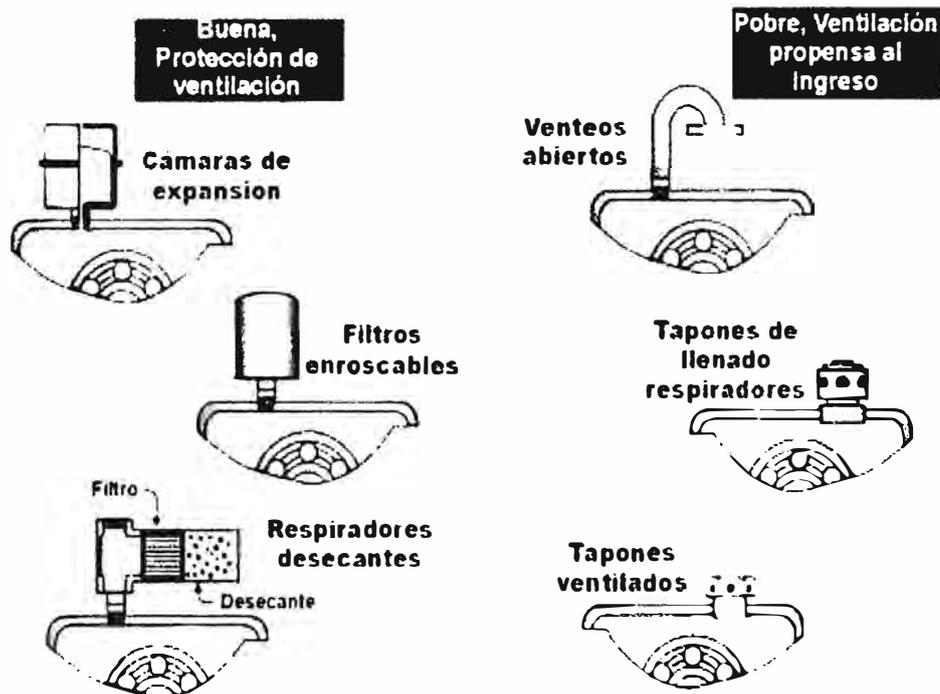
Los respiradores desecantes son una opción buena. Ellos son hechos con pre filtros, desecantes y los filtros secundarios que proporcionan un nivel de filtración de 2  $\mu\text{m}$ . Las partículas, así como la humedad, se filtran con esta clase de respirador.

---

<sup>34</sup> Entin, Oscar; 2002; Importancia del control de la contaminación en los fluidos hidráulicos y lubricantes.

El respirador de sílica gel cambia de color cuando el respirador necesita ser reemplazado, el cual por sí sólo es mejor que el viejo estilo de respirador que raramente se cambian.

## Ventilación de Tanques y Contenedores



**Figura N° 40: Comparación del desempeño de respiradores de tanques de lubricantes.**

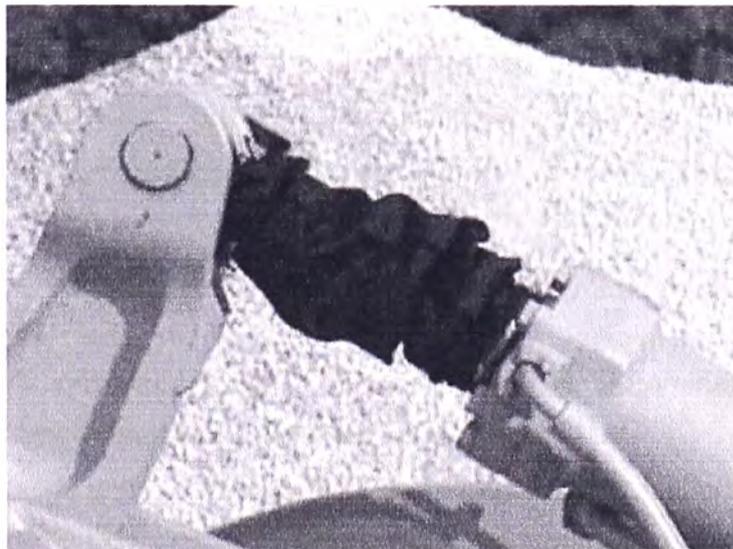
Ref. James C. Fitch. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

**Limpieza diaria del respiradero del depósito hidráulico.** En ambiente polvoriento, desmontar el respiradero, limpiarlo minuciosamente, soplarlo con aire comprimido y montarlo nuevamente en su sitio. Toda esta operación puede llevarse a cabo diariamente cuando el camión lubricador que dispone de un compresor efectúa las tareas de rellenos y engrases y lo ejecutará el operador de la unidad.

### Otras Acciones de Exclusión

- Mejoras en los sellos y la instalación de estos.
- Limpieza de los sistemas al ser reparados o instalados por primera vez para evitar que las rebabas y suciedad de la reparación o fabricación afecten su desempeño.

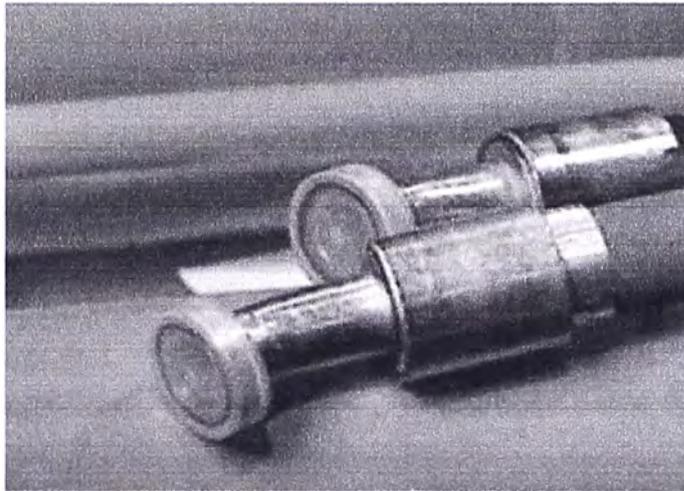
- Mejoras en el manejo de los lubricantes, los procesos de almacenamiento y relleno de aceites a las máquinas.
- Controlando la contaminación durante el manejo del lubricante, lo que quiere decir que se debe minimizar la contaminación de los aceites cuando se almacenen, al momento de abrirlo y al momento de usarlo.
- Los cilindros también juegan un papel importante, los cilindros de acero reacondicionados no cumplirán el objetivo de limpieza la mayoría de las veces. Con los cilindros de acero nuevos, algunas veces se logrará el objetivo de limpieza y otras veces no, en tanto que al usar cilindros de plástico desechables, el objetivo se alcanzará la mayoría de las veces, siempre y cuando se haya tenido un manejo adecuado en el momento en que fueron llenados.
- Al momento de filtrar y/o dializar los aceites, los recipientes donde se almacenarán deben ser de plástico, buscar proveedores que vendan cilindros con altos niveles de limpieza.
- Inspeccionar las máquinas para detectar fuentes de ingreso de contaminantes.



**Figura N° 41: El ingreso de contaminantes al actuador representa el 90% de todas las partículas ingresadas al Sistema Hidráulico**

Ref. Caterpillar

Las tuberías de fluidos en general deben ser tapadas cuando no están en uso, así se evitará la contaminación de los sistemas mecánicos al momento de su instalación.



**Figura N° 42: Mangueras hidráulicas debidamente tapadas.**

Ref. Caterpillar

• **Niveles de limpieza de maquinaria nueva y reconstruida.**

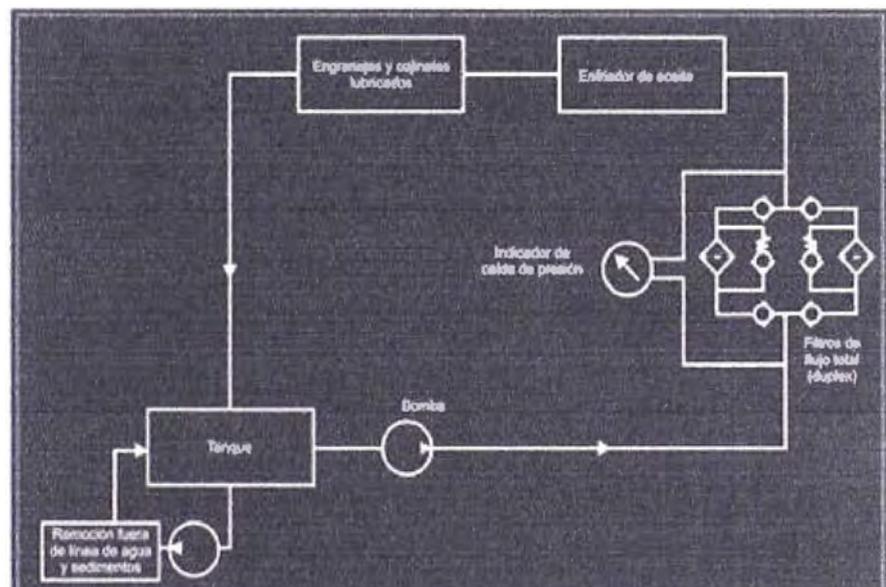
Al recibir maquinaria nueva y/o re potenciada se debe monitorear los niveles de contaminantes de sus fluidos y compararlas con sus objetivos de limpieza, si estos corresponden con los objetivos entonces se puede poner a operar el equipo en forma confiable, en caso contrario se debe utilizar la dialización para reducir la contaminación hasta llegar al código ISO adecuado.

- Controlando el ingreso durante la inspección y reparación de maquinaria
- Selección de sellos para el control de ingreso de contaminantes
- Fuentes de contaminación con agua.
- Utilizando la grasa para excluir contaminación.
- Control de contaminación en equipos parados o de reserva.

**2.2.2.2 Estrategia de Remoción:**

**ACCIONES DE REMOCIÓN:**

- Asentamiento de Contaminantes.** Un asentamiento preliminar en el tanque del sistema por lo general proporciona una primera etapa de purificación del aceite. Las partículas de gran tamaño y el agua se precipitarán en el piso del tanque, y el aire atrapado es liberado a la superficie cuando se proporcione un periodo adecuado de reposo al aceite. Para turbinas, compresores y motores eléctricos con bajos niveles de contaminación, entre cinco y diez minutos de reposo son suficientes. Para lubricantes severamente contaminados con agua, escoria y partículas finas en aplicaciones de acerías y papeleras se requiere de 30 minutos para que éstos contaminantes se asienten. Con frecuencia, para un asentamiento suplementario, la mejor opción es instalar un circuito fuera de línea desde la base del tanque:



**Figura N° 43: Sistema Típico de Filtración.**

Ref. Parkhurst. Ajustando la filtración a los requerimientos de la maquinaria

- Remoción de Agua:** La remoción de grandes cantidades de agua libre presente en el aceite, está prácticamente fuera de la capacidad de los filtros de aceite típicos. Para estas aplicaciones, el uso de asentamiento o de un equipo de separación centrifuga disminuye el contenido de agua presente en el aceite hasta niveles de aproximadamente 20 ppm por arriba del nivel de saturación. También

pueden ser utilizados filtros coalescentes, filtros de tipo absorbentes, y cámaras de vacío para retirar el agua presente en el aceite.

El agua libre, generalmente en forma de gotas grandes, puede ser removida del aceite económicamente por asentamiento, centrifugas o filtros coalescentes. La máxima concentración de agua en sistemas de circulación de aceite, debería mantenerse al nivel de saturación de 300 ppm, dependiendo también de la temperatura y la formulación del lubricante. Si el nivel de humedad se mantiene aproximadamente 100 ppm más abajo, puede minimizar cualquier daño en los componentes.

- **Uso de Filtros Magnéticos:** Existe en el mercado unidades de filtración con capacidades de hasta 757 lpm (200 gpm) que utilizan magnetos permanentes para remover del aceite partículas de hierro en molinos de acero o en aplicaciones de maquinado de metales, así como de desgaste de los elementos de la maquinaria. El filtro magnético generalmente está incorporado a los conductos de aceite en cajas de engranajes grandes, unidades hidráulicas, mandos de engranes en turbinas que cuentan con periodos de inspección y limpieza programados.

- **Localización de Filtros:** Los posicionamientos de filtros dentro de sistemas hidráulicos pueden ser clasificados mediante tres funciones que pueden desempeñar: Prevención del ingreso de contaminantes, mantener el nivel de limpieza y aislar al sistema de componentes.

Así todo aire que ingresa al depósito de aceite debe ser filtrado. Remover suciedad del aire es muchas veces más fácil que removerla del aceite por lo tanto lo primero que se debe confirmar es que el depósito de aceite está completamente sellado y que las únicas vías de intercambio de aire a este son a través de filtros de aire de suficiente tamaño y que sean capaces de extraer partículas de 3 micrones o más del aire.<sup>35</sup>

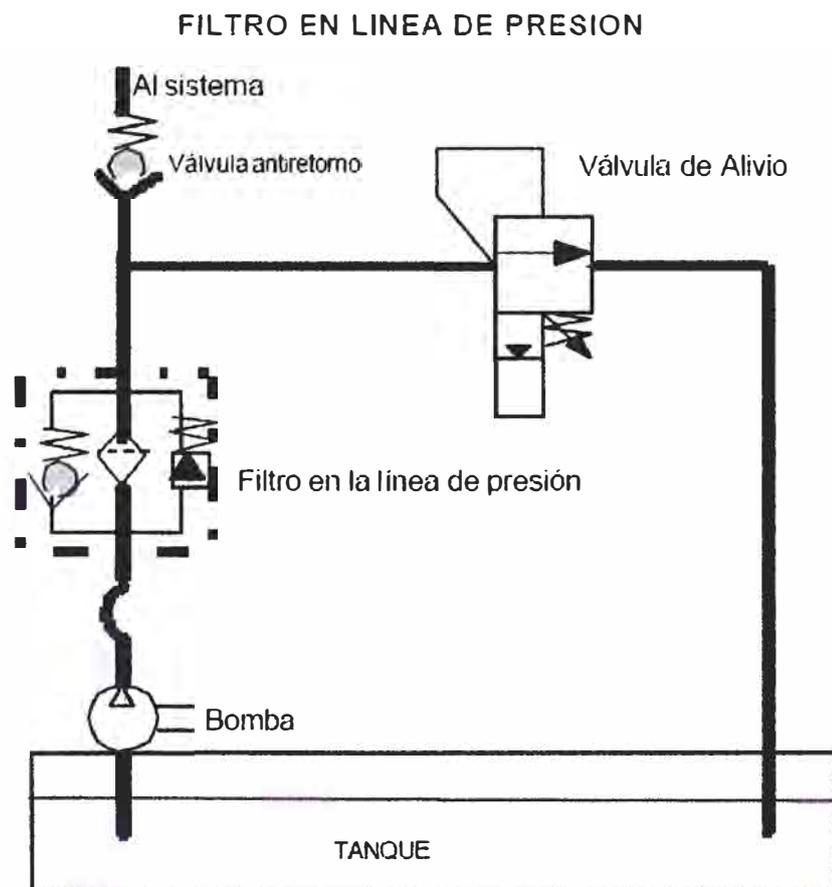
---

<sup>35</sup> Khonsari, M.M y Booser, E.R. Ajustando la filtración de aceite con los requerimientos de la máquina; Universidad del Estado de Louisiana.

Hay tres sitios principales en un circuito hidráulico donde los filtros de control de contaminación deberían ser localizados: líneas de Presión, Líneas de Retorno o en el circuito e recirculación.

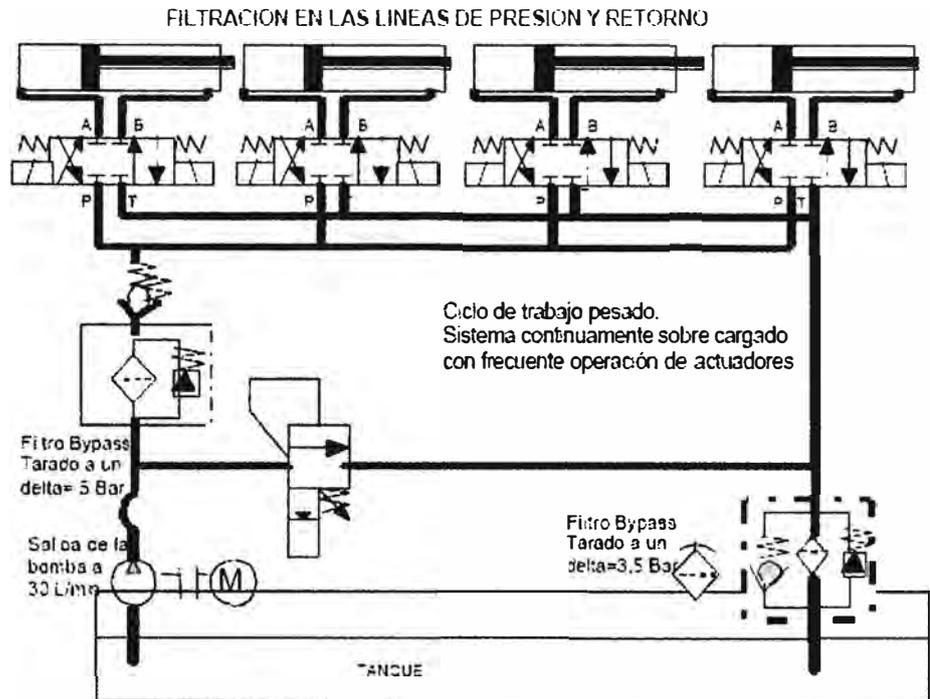
El filtro de la línea de presión deberá ser montado directamente aguas debajo de cualquier bomba de volumen fijo operando arriba de 2 175 psia y cualquier bomba de volumen variable operando arriba de 1 450 psia.

La línea de retorno es una excelente localización para el filtro de control de contaminación del sistema de control de contaminación del sistema principal y deber ser de tal capacidad que pueda admitir como mínimo del 20% del volumen del sistema por cada minuto.



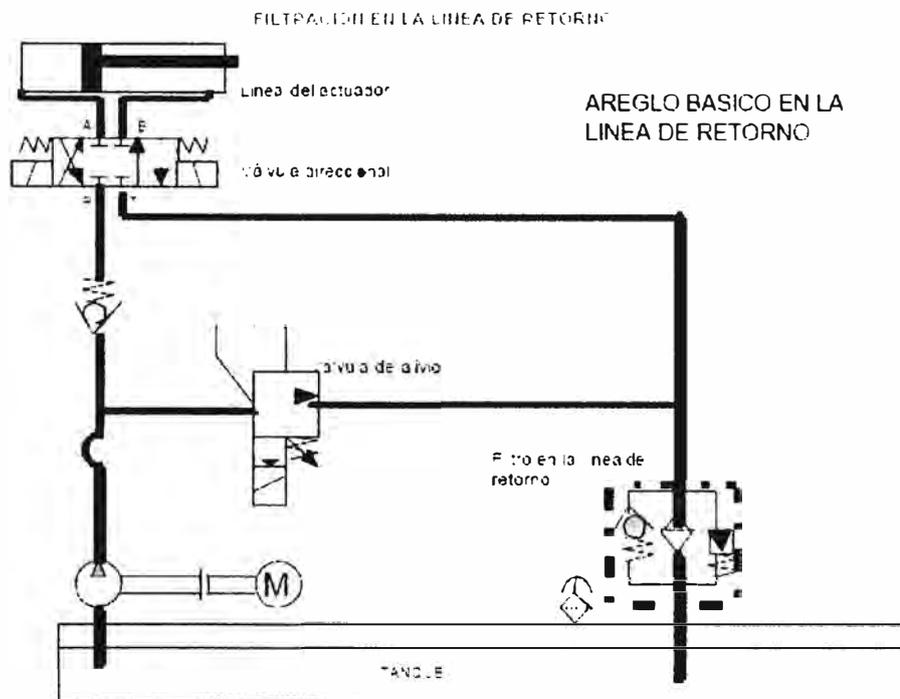
**Figura N° 44: Filtración en la Línea de Presión.**

Ref. Tutor de Lubricación de Shell



**Figura N° 45: Filtración en las Líneas de Presión y de Retorno.**

Ref. Tutor de Lubricación de Shell



**Figura N° 46: Filtración en la Línea de Retorno.**

Ref. Tutor de Lubricación de Shell

- **Proceso de Flushing.** El Flushing es un proceso de circulación de fluido diseñado para quitar el agua, los contaminantes químicos, aire y material particulado (no fijados a la superficie) que resulta de las operaciones de construcción, el ingreso normal de contaminación externa, generación interna o desgaste de componentes.

El Flushing consiste en lavar internamente el depósito de aceite de los equipos rotativos y de todo el sistema de lubricación (si es por circulación), con el fin de evacuar los productos insolubles de la oxidación del aceite, que se van adhiriendo fuertemente a las superficies metálicas en forma de lodos y de gomas, propiciando la oxidación definitiva y prematura del aceite. El flushing se debe llevar a cabo con el equipo rotativo fuera de servicio y puede incluir el cambio del aceite ó la filtración ó diálisis del mismo de acuerdo con los resultados de laboratorio que se hayan obtenido. Por lo menos una vez al año es conveniente hacer la operación de "flushing" a todos los sistemas de lubricación.

El "flushing" se le debe hacer a todo equipo que salga para mantenimiento y que cuente con sistemas de circulación de aceite con el fin de garantizar que tanto el aceite como las tuberías de circulación quedaron limpias. En este caso es imprescindible la utilización de un Dializador de aceite el cual se acopla al depósito de aceite el tiempo que sea necesario con el fin de ir evacuando las impurezas que el aceite va desprendiendo de las tuberías; con este procedimiento el tiempo de la puesta en marcha de la máquina que es intervenida se reduce considerablemente.

### **Procedimiento**

El procedimiento para llevar a cabo el proceso de "flushing" en el cárter ó depósito de aceite de un equipo depende de si el sistema de lubricación es por salpique ó por circulación.

- **Por salpique:** Si el aceite está oxidado, se saca de servicio el equipo rotativo, se evacua la totalidad del aceite del depósito, se limpia el

depósito con un solvente ó con un aceite para flushing y luego se le aplica el aceite nuevo, el cual puede estar incluso previamente filtrado o dializado.

Si el aceite no está oxidado (esto lo define el laboratorio a través de la prueba de TAN u oxidación por FTIR) y aún tiene vida residual, se saca del depósito, se limpia el depósito y luego el aceite se filtra ó se dializa, y a continuación vuelve y se llena el depósito con el aceite filtrado ó dializado. Finalmente, se toma una muestra del aceite y se analiza en el laboratorio, incluyendo nivel de limpieza, según la Norma ISO 4406, con el fin de certificar la calidad del aceite y la limpieza del sistema de lubricación.

• **Por circulación:** Al igual que en el caso anterior, si el aceite está oxidado, se saca de servicio el equipo rotativo, se evacua la totalidad del aceite del depósito, se limpia el depósito con un solvente, y luego se le aplica el aceite nuevo.

Si el aceite aún tiene vida residual, se filtra ó se dializa, y a continuación vuelve y se llena el depósito con el aceite filtrado ó dializado. Se pone a fluir el aceite por el circuito de lubricación del equipo rotativo mediante su propio sistema de bombeo y simultáneamente el aceite se va dializando en el depósito de aceite, mediante la utilización de un dializador , que extrae el aceite del depósito y lo dializa, y luego lo descarga, hasta que el análisis físico-químico y el Conteo de Partículas según la Norma ISO 4406 indiquen que el aceite quedó en óptimas condiciones y el sistema de lubricación como el depósito de aceite, tuberías, accesorios, etc. quedó limpio.<sup>36</sup>

### **Aspectos Importantes para llevar a cabo el Proceso de Flushing**

Para llevar a cabo el proceso de flushing se deben considerar los siguientes aspectos:

a) El fluido de limpieza que se debe utilizar para poder disolver las gomas y barnices que se han acumulado en el tanque.

---

<sup>36</sup> Ingelub. Ingenieros de Lubricación Ltda. Obra citada.

- b) Cual es el tipo de bomba, mangueras y accesorios que deben utilizarse.
- c) El caudal recomendado y el diámetro interno de la manguera.
- d) El número de Reynolds recomendado para el flushing.

Todos estos aspectos pueden ser respondidos mediante el cálculo del Número de Reynolds que relaciona el caudal, el diámetro interno de la manguera y la viscosidad cinemática del fluido de limpieza usado en el proceso de limpieza.

El número de Reynolds (Nr) puede ser calculado por:

$$Nr = 3160. \frac{GPM}{\nu \cdot D} \quad \dots (17)$$

**Donde**

**GPM = Flujo del fluido de flushing en Gal/min**

**$\nu$  = viscosidad del fluido usado para el fluhing – en cSt a 40°C**

**D = Diámetro interior de la tubería – en pulg.**

Según lo considerado por la fórmula, la turbulencia puede tener una influencia significativa en la operación de flushing. La turbulencia en el sistema acorta el tiempo y mejora la calidad de la operación ya que facilita la remoción y/o disolución de las gomas y barnices que han podido depositarse en los tanques y componentes de maquinarias. Por lo tanto para alcanzar esto el régimen de flujo del fluido de limpieza debe ser turbulento. El número de Reynolds mide el nivel de turbulencia en los fluidos. En general, un número mayor de 4.000 representa flujo turbulento, y un número menos de 2.000 representa flujo laminar. En general, el efecto de la turbulencia y la capacidad de dirigir la fuerza del líquido facilita el movimiento de los lodos y depósitos de los tanques y reservorios de lubricantes.

- **Utilización de equipos móviles de Microfiltración.**  
**Equipos móviles de Microfiltración.**

Las partículas sólidas y metálicas presentes en el aceite generan problemas de desgaste erosivo y abrasivo en los mecanismos lubricados, reduciendo ostensiblemente su vida de servicio; esto se puede evitar si se trabaja con aceites dentro del código de limpieza recomendado por la Norma ISO 4406. Una manera eficiente de garantizar que los aceites trabajen limpios en las máquinas rotativas es filtrándolos periódicamente lo cual se puede hacer mediante la utilización de un sistema de Filtración de Alta Eficiencia (Microfiltración) de preferencia de tipo móvil, un equipo móvil que permite a un bajo costo filtrar aceites contaminados con partículas sólidas, metálicas ó con trazas de agua.

Un carro de filtración es un sistema portátil de filtración fuera de línea cuando se usa para filtrar el aceite que está contenido en un depósito. Este carro puede ser utilizado también para transferir lubricantes de un cilindro a un depósito. Ya sea en una u otra aplicación, es una solución económica y práctica cuando se requiere filtración fuera de línea.

Los carros de filtración también pueden ser empleados para eliminar partículas y así preservar la vida del aceite. No son sólo una herramienta para medidas excepcionales de emergencia cuando se enfrenta con lubricantes o fluidos hidráulicos contaminados. Para evitar la contaminación cruzada de los fluidos, asegúrese que hay un carro de filtración dedicado para cada tipo de lubricante que use. Los carros de filtración deben estar equipados con conectores rápidos, filtros eliminadores de partículas y elementos filtrantes absorbedores de agua. Los carros de filtración deben ser parte de una rutina que incluya la filtración de aceites nuevos, al momento de transferirlos y cuando se introduzcan al equipo.

Los carros de filtración aseguran mayores niveles de limpieza cuando se utilizan en operaciones diarias. Es la manera ideal para pre filtrar y transferir fluidos en los depósitos. Los fluidos lubricantes siempre deben de ser filtrados antes de ponerlos en servicio. Gran parte del personal de planta siente que el aceite nuevo está lo suficientemente

limpio como para usarse directamente en el equipo. Sin embargo, la mayoría de los lubricantes nuevos no están listos para su uso en cuanto al nivel de limpieza deseado, debido a altos niveles iniciales de contaminación. La contaminación, tanto con partículas como con agua, puede afectar al aceite nuevo durante el proceso de elaboración, mezclado o manejo. Esta contaminación puede eliminarse utilizando un carro de filtración.

### **Cálculo del Tiempo de Filtración Usando un Equipo de Microfiltrado.**

#### **Pasos a seguir:**

- 1) Medir el nivel de limpieza actual expresado por su código ISO.
- 2) Fijar el Objetivo de Limpieza expresado por su código ISO.
- 3) Con la tabla anterior y usando los dos últimos dígitos del código ISO leer el número de partículas > 10 micrones para los dos casos anteriores.
- 4) Luego por regla de tres determinar qué porcentaje es el objetivo respecto al actual, esto nos determina el porcentaje remanente de contaminantes.
- 5) Con este porcentaje interceptar a la línea de desempeño del filtro (Ver la Carta de Desempeño Típica del equipo de Filtrado) que usa el equipo de microfiltrado en función de su Tasa Beta o Eficiencia de filtración.
- 6) Leer en la carta el Número de Pasadas.
- 7) Para hallar el Tiempo de Filtrado divida el volumen del tanque entre el caudal de filtración y multiplique por el número de pasadas.

$$\textit{Tiempo.de.Filtrado} = \frac{V_t}{Q_f} \times \textit{Número.de.Pasadas} \quad \dots (18)$$

Donde:

***V<sub>t</sub>*** : Volumen del Tanque

***Q<sub>f</sub>*** : Caudal de Filtración

***T<sub>f</sub>*** : Tiempo de Filtración

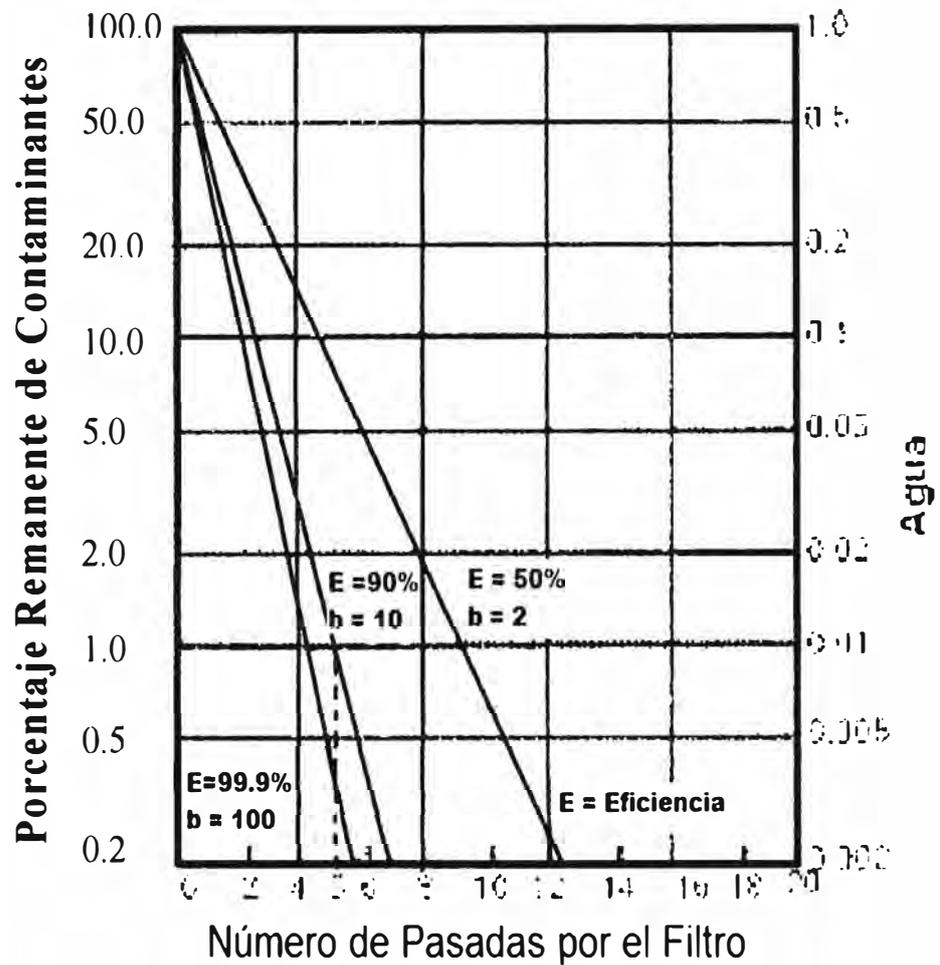


Figura Nº 47: Carta de Desempeño Típica de un equipo de Filtrado.

Ref. Steele. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

- **Cálculo de la Masa Retenida por cada Filtración Usando un Equipo de Microfiltrado:** En general para hallar la masa retenida por el filtro en cada filtración y así estimar aproximadamente cuando un filtro se saturará se debe saber cuáles fueron los niveles de limpieza antes y después de la operación, esto expresado a través de sus códigos ISO respectivos.

Se puede usar la siguiente fórmula:

$$\text{Masa Retenida} = Qf \cdot \Delta H \cdot Tf \cdot 10^{-3} \quad \dots (19)$$

Donde:

**Mr:** Masa Retenida (g)

***Q<sub>f</sub>*:** Caudal de Filtración (l/min)

**$\Delta H$ :** Diferencia de Peso Gravimétrico antes y después de la filtración (mg/l)

***T<sub>f</sub>*:** Tiempo de Filtración (min)

**Tabla N° 20** Peso y Cantidad Aproximado de Partículas en función del Nivel de Limpieza.

Ref. ISO 4406.

Código ISO	Número Aproximado de Partículas > 10 $\mu$ por ml	Peso Aprox. de los contaminantes mg/l (nivel gravimétrico)
26/23	140000	1000.0
25/23	85000	607.1
23/20	14000	100.0
21/18	4500	32.1
20/18	2400	17.1
20/17	2300	16.4
20/16	1400	10.0
19/16	1200	8.6
18/15	580	4.1
17/14	280	2.0
16/13	140	1.0
15/12	70	0.5
14/12	40	0.3
14/11	35	0.3
13/10	14	0.1
12/9	9	0.1
11/8	5	0.036
10/8	3	0.021
10/7	2.3	0.016
10/6	1.4	0.010
9/6	1.2	0.009
8/5	0.6	0.004
7/5	0.3	0.002
6/3	0.14	0.001
5/2	0.04	0.00029
2/0.8	0.01	0.00007

- **Cálculo del Tiempo de Saturación de un filtro.**

La misma fórmula puede ser relacionada para calcular el Tiempo de Saturación del filtro.

$$DHC = Qf \cdot \Delta H \cdot Ts \cdot 10^{-3} \quad \dots (20)$$

Donde:

**DHC:** Capacidad de Retención de Partículas (Dust Holding Capacity) (g)

***Qf*** : Caudal de Filtración (l/min)

**$\Delta H$ :** Diferencia Promedio de Peso Gravimétrico inicial y final (mg/l)

***Ts*** : Tiempo de uso del filtro hasta su Saturación (min)

- **Utilización de equipos móviles de Dialización.**

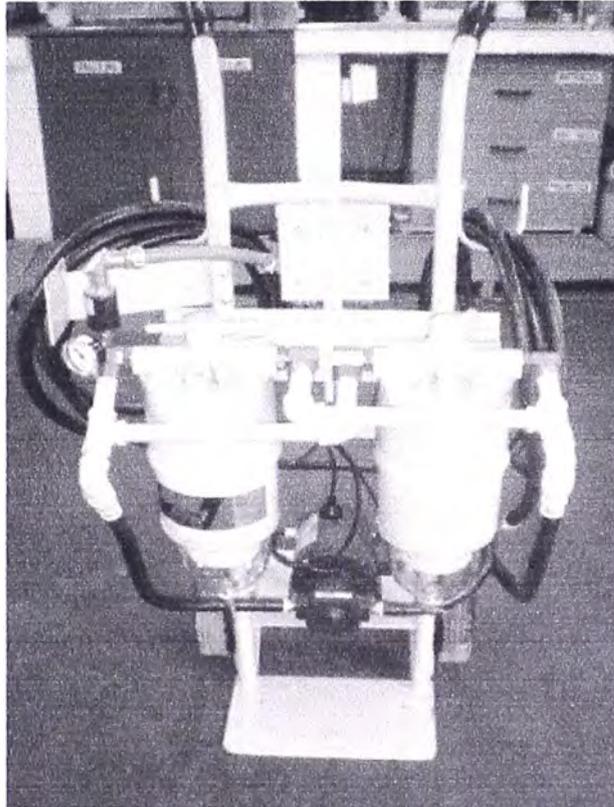
La dialización es un proceso mixto que junta a un equipo de microfiltrado y a un equipo de termo-vacío, es un proceso físico el cual permite calentar el aceite hasta temperaturas de 100°C y someterlo a presiones de vacío de 27" de Hg aproximadamente. Son equipos ideales para secar los fluidos por debajo de su nivel de saturación, llegando hasta 5 ppm. (mg/l) de agua en solución.<sup>37</sup>

Muy manuales, de bajo costo operativo y poco mantenimiento. Durante este proceso el aceite se limpia totalmente y se filtra hasta dejarlo con el código de limpieza, según ISO 4406-99 que se haya definido previamente como objetivo. Al final del proceso de diálisis, el aceite queda en óptimas condiciones para ser utilizado en la misma aplicación donde se venía utilizando. Aunque en algunas ocasiones el calentamiento al vacío puede disminuir la cantidad de aditivos que tiene el aceite, disminuyendo un tanto su desempeño al ser regenerado. Esto puede ser controlado encontrando las condiciones adecuadas de operación tanto del número de pasadas por el dializador

---

<sup>37</sup> Lean Manufacturing, 2006; Los Carros de Filtración Capturan Contaminantes; en las memorias de las conferencias de "Lubrication Excellence".

como por la temperatura de dializado y la presión de vacío utilizada por medio del análisis del nivel de aditivos en el análisis de aceites.<sup>38</sup>



**Figura N° 48: Equipo portátil de Microfiltración**  
Ref. Campamento Minero Andean.

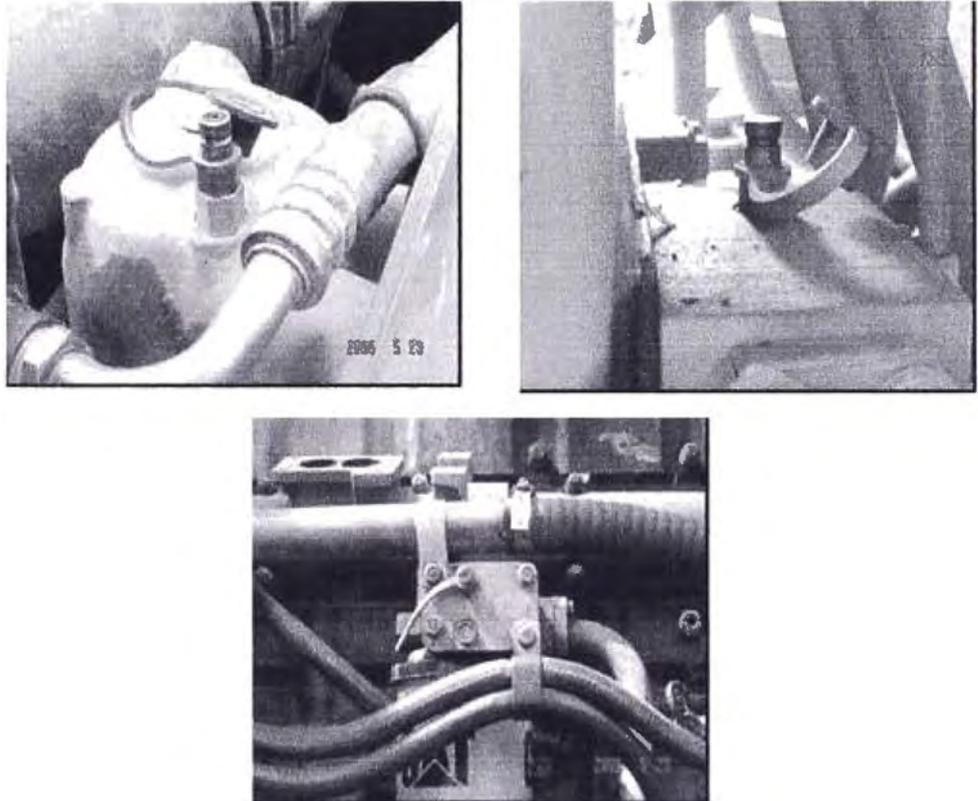
### **2.2.2.3- Ubicación de puntos de muestreo.**

La ubicación de los puntos de muestreo de la maquinaria es un aspecto muy importante ya que nos va a permitir programar en forma más eficiente la operación de muestreo y también disponer de los recursos necesarios en forma más rápida. Por ejemplo en una operación minera los equipos por lo general están operando continuamente y existe muy poco tiempo disponible para la toma de muestras y en muchas ocasiones se debe detener su operación, entonces el personal que toma la muestra debe saber la ubicación exacta del componente, de las herramientas y equipos que necesita para lograr minimizar el tiempo de parada del equipo. En el caso de

---

<sup>38</sup> Ingelub. Ingenieros de Lubricación Ltda. Obra citada.

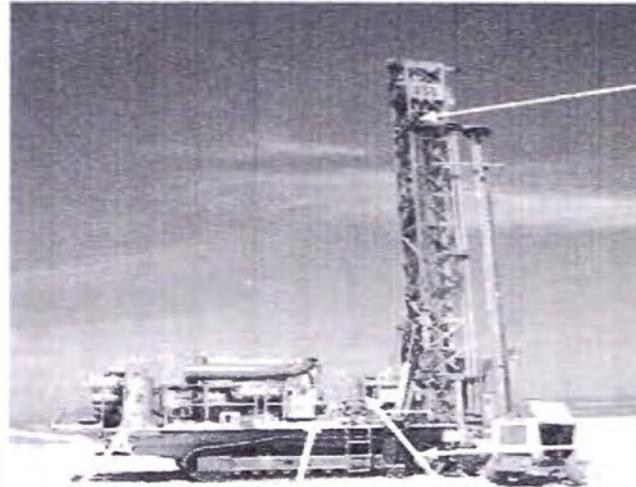
que los equipos se encuentren parados como es el caso a la hora del refrigerio, esto sirve para lograr maximizar el número de muestras que se toman a las maquinarias.



**Figura N° 49: Puntos de Muestreo con conectores rápidos.**

Ref. Campamento Minero Andean.

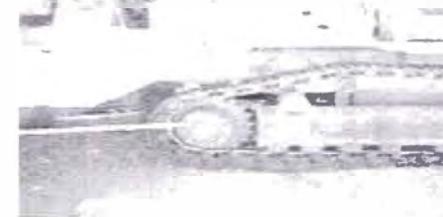
**PERFORADORA**



**CABEZAL**



**MANDO FINAL**



**MOTOR**



**COMPRESOR**



**Figura N° 50: Ubicación de Puntos de Muestreo para una perforadora DM45E.**

Ref. Campamento Minero Andean.

#### **2.2.2.4- Instalación de sistemas de filtración de alta eficiencia en los equipos críticos considerados.**

Mas detalles pueden ser apreciados en el acápite 5.5.2 Estrategias para lograr los Objetivos de Limpieza.

#### **2.2.3- Establecimiento de los límites de advertencia y de metas a las pruebas de rutina de análisis de aceite para los equipos seleccionados.**

El uso de límites es una herramienta de gran alcance en la interpretación de los datos, así como en análisis del aceite y en diversos tipos de actividades de cómputo. Los límites se utilizan para tamizar y para destacar la información que no es fácilmente obvia al usar un proceso mental de revisión.<sup>39</sup>

En análisis de aceites se debe utilizar un proceso formal (y automático) de revisión ya que por la alta cantidad de datos que se manejan resulta muy complicado y tedioso hacer revisiones mentales que demandarían el empleo de mucha mano de obra especializada.

Con demasiada frecuencia límites incorrectos o con poco sustento se seleccionan para las diversas pruebas de análisis, conduciendo a errores costosos debido a que la información derivada del uso de estos límites (diagnóstico) resulta en aplicar acciones incorrectas a las maquinarias.

Se puede afirmar entonces que el éxito en el Análisis de Aceite depende del establecimiento adecuado de los límites.

#### **¿Qué son los límites?**

Los límites, designados a veces alarmas, son dispositivos creados para asistir a interpretar informes del análisis del aceite.

#### **Beneficios del Establecimiento de los Límites:**

- Alertan de condiciones de desgaste anormal de la máquina o de la operación.

---

<sup>39</sup> Hart, M. 2002, Factors to Consider When Setting Trendline Alarms; en Practicing Oil Analysis Magazine.

- Alertan de la contaminación del aceite.
- Alertan de aceite incorrecto.
- Alertan de aceites básicos y aditivos fuera de especificación.
- Substancialmente reducen la cantidad de datos que uno revisa.

Se tienen que tener presente que las metas son límites que definen los objetivos de desempeño no el impedimento de las falla.

En muchas ocasiones se utilizan metodologías generales enfocadas fundamentalmente al Mantenimiento Predictivo es decir a detectar cuándo se está próximos a una falla para poder evitar paros y fallas catastróficas. El enfoque del Mantenimiento Proactivo, permite utilizar límites de advertencia de tendencia, determinados para poder tomar acciones cuando alguna de las variables que provocan el desgaste se salga de los y de esa manera no sólo evitar la falla, sino disminuir el desgaste y por lo tanto, prolongar significativamente la vida de los equipos

#### **Metodologías de Alarma:**

Se utilizan dos tipos de metodologías de Alarma en el análisis de aceites:

- Alarmas Absolutas
- Alarmas Estadísticas

#### **Alarmas Absolutas:**

Están basadas en las recomendaciones del fabricante del equipo o las recomendaciones del Ingeniero de Lubricación o boletines técnicos. Estas alarmas definen rangos de trabajo o **límites condenatorios** y son aplicables principalmente a las condiciones del lubricante y a la contaminación. Una larga investigación se ha desarrollado para llegar a esos límites y proporcionan un punto muy válido de arranque en cualquier programa de análisis de aceite. Las alarmas absolutas pueden funcionar adecuadamente cuando se refiere a equipo nuevo que se encuentra en garantía, ya que la falta de seguimiento a estos lineamientos en ocasiones provoca que las garantías no se hagan válidas.

**Tabla N° 21: Límites Condensatorios Generales Para Motores Diesel**

Ref. Gerardo Trujillo. Interpretación de Análisis de Aceites

Prueba de análisis de aceite	Fabricante del Equipo		
	Caterpillar	Cummins	Detroit Diesel
Espectrometría, Hierro	100 ppm	84 ppm	150 ppm
Espectrometría, Cobre	45 ppm	20 ppm	90 ppm
Espectrometría, Plomo	100 ppm	100 ppm	No especificado
Espectrometría, Aluminio	15 ppm	15 ppm	No especificado
Espectrometría, Cromo	15 ppm	15 ppm	No especificado
Espectrometría, Estaño	20 ppm	20 ppm	No especificado
Espectrometría, Sodio	40 ppm	20 ppm	50 ppm
Espectrometría, Boro	20 ppm	25 ppm	20 ppm
Espectrometría, Silicio	10 ppm	15 ppm	No especificado
Viscosidad	+20 % a -10 % del grado SAE nominal	+/- 1 grado SAE o 4 cSt del aceite nuevo @ 100°C	+40 % a -15% del grado SAE nominal @ 40°C
Agua	0.25% máx.	0.2% máx.	0.3% máx.
TBN	1.0 mg KOH/g valor min.	2.0 mg KOH/g min. o 50% del inicial o igual al TAN	1.0 mg KOH/g valor min.
Dilución por combustible	5% máx.	5% máx.	2.5% máx.
Dilución por Glicol	0.1% máx.	0.1% máx.	0.1% máx.

**Tabla N° 22: Límites Condensatorios Generales Para Sistemas  
Hidráulicos**

Ref. Gerardo Trujillo. Interpretación de Análisis de Aceites

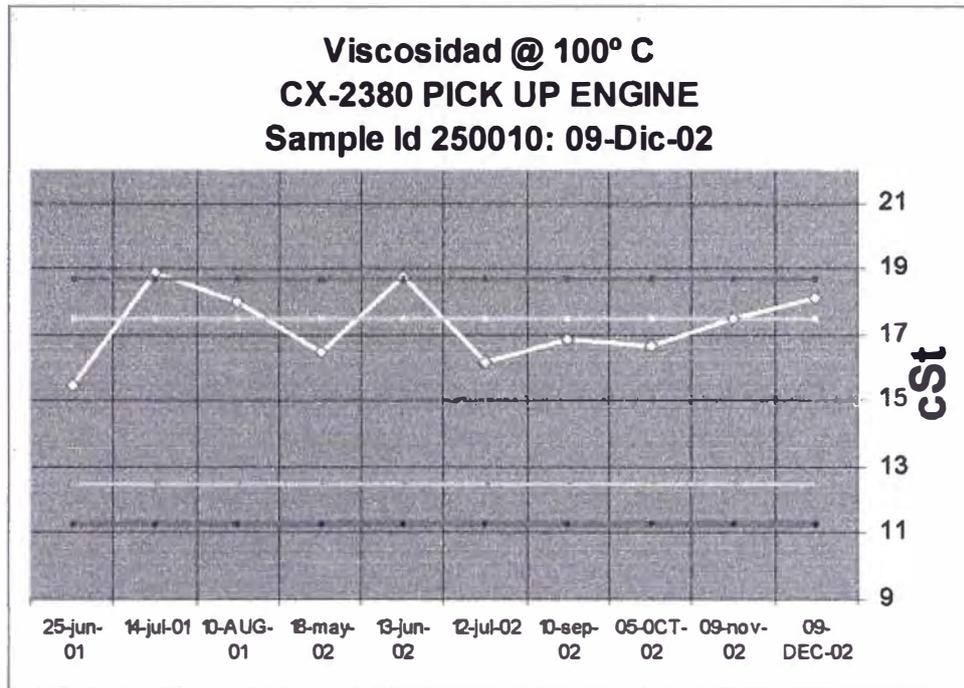
<b>Prueba de análisis de aceite.</b>	<b>Límites de Alarma</b>	<b>Siguiente acción Recomendada</b>
Espectrométrico Silicio	15 ppm	
Espectrométrico Cobre	12 ppm	
Espectrométrico Fierro	26 ppm	
Viscosidad	+20%, -10% del Grado nominal ISO	
Oxidación	0.4 Abs/0.1 mm sobre la muestra anterior.	TAN (1.5 mg KOH/g máx.)
Conteo de Partículas *	Código ISO 17/14	
Agua	0.1% máx.	Karl Fisher

#### **Alarmas Estadísticas:**

Las alarmas absolutas (o de nivel) tienen la desventaja de que están elaboradas en base a unas situaciones de operación promedio, que pueden no reflejar las condiciones actuales de una maquinaria en especial. Las alarmas Estadísticas, están basadas en la selección de una pequeña muestra de información del equipo, analizando la distribución de la información y utilizando sus características estadísticas para determinar los límites de alarma. El análisis de la tendencia estadística permite la identificación del equipo que requiere de especial atención, logrando efectuar el mantenimiento en una manera eficiente.<sup>40</sup>

El establecimiento de límites estadísticos que proporcionen una advertencia a tiempo, sin falsas alarmas, no es una tarea sencilla. Varios factores como el cambio de aceite o la adición de rellenos, cambios de filtros, técnica de muestreo, etc. podrán hacer variar los resultados. Sin embargo, si los pasos fundamentales son empleados, se podrá tener una buena administración del programa de análisis de aceite y de la lubricación.

<sup>40</sup> Trujillo, Gerardo; 2002; Interpretación de Análisis de Aceites. Obra Citada



**Figura N° 51: Alarmas superiores e inferiores para la medición de viscosidad.**

Ref. Diseño Propio

#### **Combinando Alarmas Estadísticas y Absolutas:**

Una administración eficiente del análisis de aceite está basada en una combinación de ambos tipos de alarmas. Como se dará cuenta, cada fabricante establece diferencias en cuanto a sus criterios para operación considerada como normal. El límite condenatorio es la alarma absoluta.<sup>41</sup> La tendencia estadística considera la variabilidad del muestreo, contaminación, relleno de aceite, etc. Que determina la desviación estándar. A partir de este punto, las señales de una falla comenzarán. Este es el tiempo de detección temprana de fallas que nos permitirá tomar acciones antes que los problemas ocurran. Pasando este punto, conforme los datos de análisis se acercan a los límites de advertencia, se deberán tomar acciones como cambios de aceite, filtración o inspección de la unidad, según sea requerido. El establecimiento de límites estadísticos que proporcionen una advertencia a tiempo, sin falsas alarmas, no es una tarea sencilla. Varios factores como el cambio de aceite o la adición de rellenos, cambios de filtros, técnica de

<sup>41</sup> Mayer, Ashley; September 2005; A Hands-on Approach to Limit Selection and Use; Practicing Oil Analysis Magazine; Noria Corporation.

muestreo, etc. podrán hacer variar los resultados. Sin embargo, si los pasos fundamentales son empleados, se podrá tener una buena administración del programa de análisis de aceite y de la lubricación.

#### **Establecer Líneas de Base:**

Tomar una muestra de cada componente de los equipos que no tienen historia anterior, es una excelente idea, que le da información acerca de las condiciones actuales y de desgaste de la maquinaria, ya que en ese momento es difícil establecer límites sin la información pertinente. Un análisis mensual por los tres primeros meses, puede establecer una buena tendencia de desgaste del equipo, de acuerdo con la información acumulada.<sup>42</sup>

Establecer alarmas o límites condenatorios o límites de advertencia, requiere alguna investigación y sentido común. Es posible definir buenos detonadores de advertencia, desarrollando una combinación de las dos técnicas de alarmas comentadas en este artículo y los pasos de preparación necesarios que mejorarán su entendimiento y conocimiento del análisis de aceite. De esta manera estará mejorando su programa de lubricación y por consecuencia su programa de mantenimiento.

**2.2.4- Procesamiento de la información obtenida de los análisis de aceite.** Para el procesamiento de la información es conveniente contar con un software que integre todos los datos hallados en todo el proceso, esto permite manejar más fácilmente la información y automáticamente decide si algún valor de análisis ha sobrepasado sus límites establecidos obteniéndose con mayor prontitud el estatus del análisis.

El estatus de la muestra se reporta en forma análoga al de un semáforo.

En la siguiente figura se muestra las partes básicas de que consta todo Reporte de Análisis de Aceites:

---

<sup>42</sup> Scout, Robert; Julio 2008; Actualize su Programa de Análisis de aceites; en Practicing Oil Analysis Magazine

**ESTADO**

Modelo: PERFORADORA/INGERSOLL RAND/MS5E (1) IMPRESOR

Lubricante: MADRELLA AS 68 Capacidad Fecha Reporte: 03/12/07 **CRITICO**

FECHA MUESTREO:	04/11/2006	05/12/2006	29/05/2007	29/07/2007	02/12/2007
NRO. LABORATORIO	000003334	000003392	000006050	000006022	000008427
LUBRICANTE:	MADRELLA AS 68				
RELLENO (GL):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EQUIPO (Hr./Km.)	4634.00	5035.00	3475.00	6150.00	7229.00
ACEITE (Hr./Km.)	416.00	317.00	69.00	650.00	2015.00
Hierro (ppm)	0	12	2	2	8
Silicio (ppm)	0	0	5	2	3
Cobre (ppm)	0	0	1	0	1
Cromo (ppm)	0	0	0	1	0
Viscosidad a 100 °C		10.73	10.64	11.56	11.03
Agua (% Vol)	0.10	Negativo	Negativo	0.10	Negativo
TAN (mgr KOH/g)	0.28	0.33	0.37	0.19	0.23
ESTADO	ALERTA	NORMAL	NORMAL	ALERTA	CRITICO

} DESGASTE

} SALUD

**CONTAMINACION**

CRITICO: NIVEL DE LIMPIEZA ISO 232X110.

**Figura N° 52: Partes de que consta todo Reporte de Análisis de Aceites.**

Ref. Software Jupiter, Campamento Minero Andean.



**Figura N° 53: Estatus del Análisis en Función al Color.**

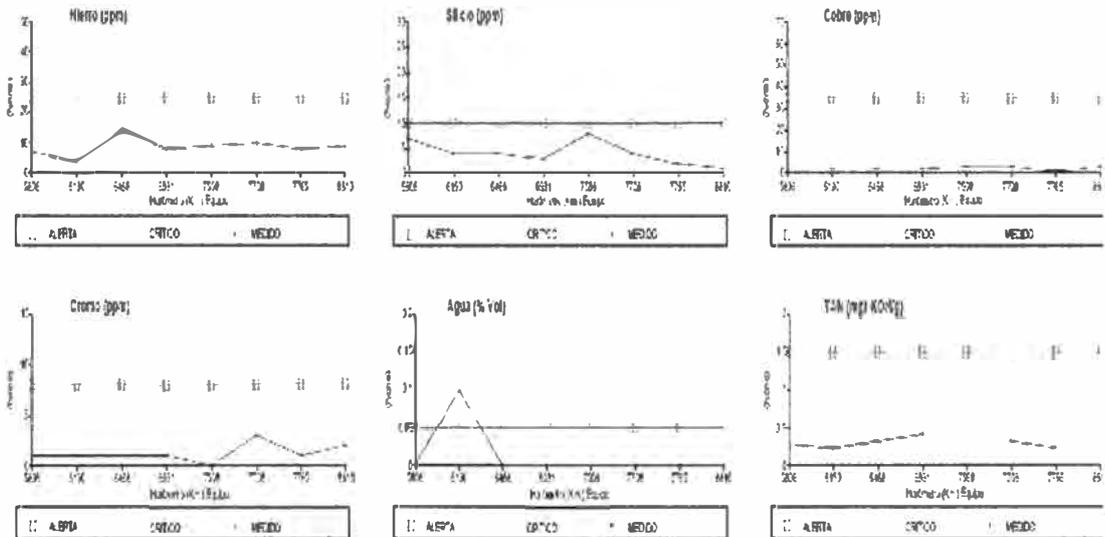
Ref. Diseño Propio.

<b>RPT.: POMISPA / DM45E 01 - S. HIDRAULICO</b>	
Pag. : 1 / 1	

Modelo: PERFORADOR WINGERSOLL RAND (DM45E 1)      Equipo: DM45E 01      Origen: S HIDRAULICO  
 Lubricante: TELLUS 37      Capacidad (GL): 62.00      Fecha Recep: 03/02/09      Fecha Reporte: 09/02/09

**NORMAL**

FECHA MUESTREO:	18/06/2007	29/07/2007	30/08/2007	07/11/2007	08/02/2009	03/05/2009	06/08/2009	09/02/2009
NIÑO LABORATORIO	000006356	000003663	000007290	000006044	000009417	000010559	000011005	000013639
LUBRICANTE:	TELLUS 37							
RELLENO (GL):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EQUIPO (Hr./Km.)	5809.00	6190.00	6469.00	6931.00	7569.00	7708.00	7765.00	6810.00
ACEITE (Hr./Km.)	589.00	632.00	1260.00	1723.00	369.00	476.00	535.00	936.00
Hierro (ppm)	4	4	14	6	9	12	8	9
Silicio (ppm)	4	4	4	3	3	4	2	4
Cobre (ppm)	2	2	2	2	3	2	1	3
Cromo (ppm)	1	1	1	1	0	1	1	1
Viscosidad a 100 °C	6.25	6.31	6.51	6.54	6.45	6.34	6.33	6.64
Agua (% Vol)	Vegetal	0.10	Vegetal	Negativo	Vegetal	Negativo	Negativo	Negativo
TAN (mgr KOH/g)	0.29	0.23	0.32	0.41		0.32	0.23	
ESTADO	NORMAL	ALERTA	CRITICO	CRITICO	ALERTA	CRITICO	ALERTA	NORMAL



**Figura N° 54: Ejemplo de un Reporte de Análisis de Aceites.**

Ref. Software Jupiter, Campamento Minero Andean.

**2.2.5- Establecimiento de las Interfaces con el Laboratorio.**

Si la empresa donde se está implementando el Programa de Análisis de Aceites cuenta con un laboratorio propio este debe ser en esencia un departamento autónomo a cargo de una persona con larga trayectoria en el campo del análisis de lubricantes.

Por lo tanto como área independiente debe de dar y recibir información con otras áreas que están ligadas con el mantenimiento, a esto es lo que se denomina interface.

Las otras áreas con las que el laboratorio interactúa son Monitoreo, Planeamiento y el taller de Mantenimiento.

### **Área Planificación.**

Columna vertebral de la gestión en mantenimiento, combina la retroalimentación de las demás áreas funcionales y la información de producción, para producir los planes de Mantenimiento Preventivo, y Reparaciones Generales.

### **Área Mantenimiento**

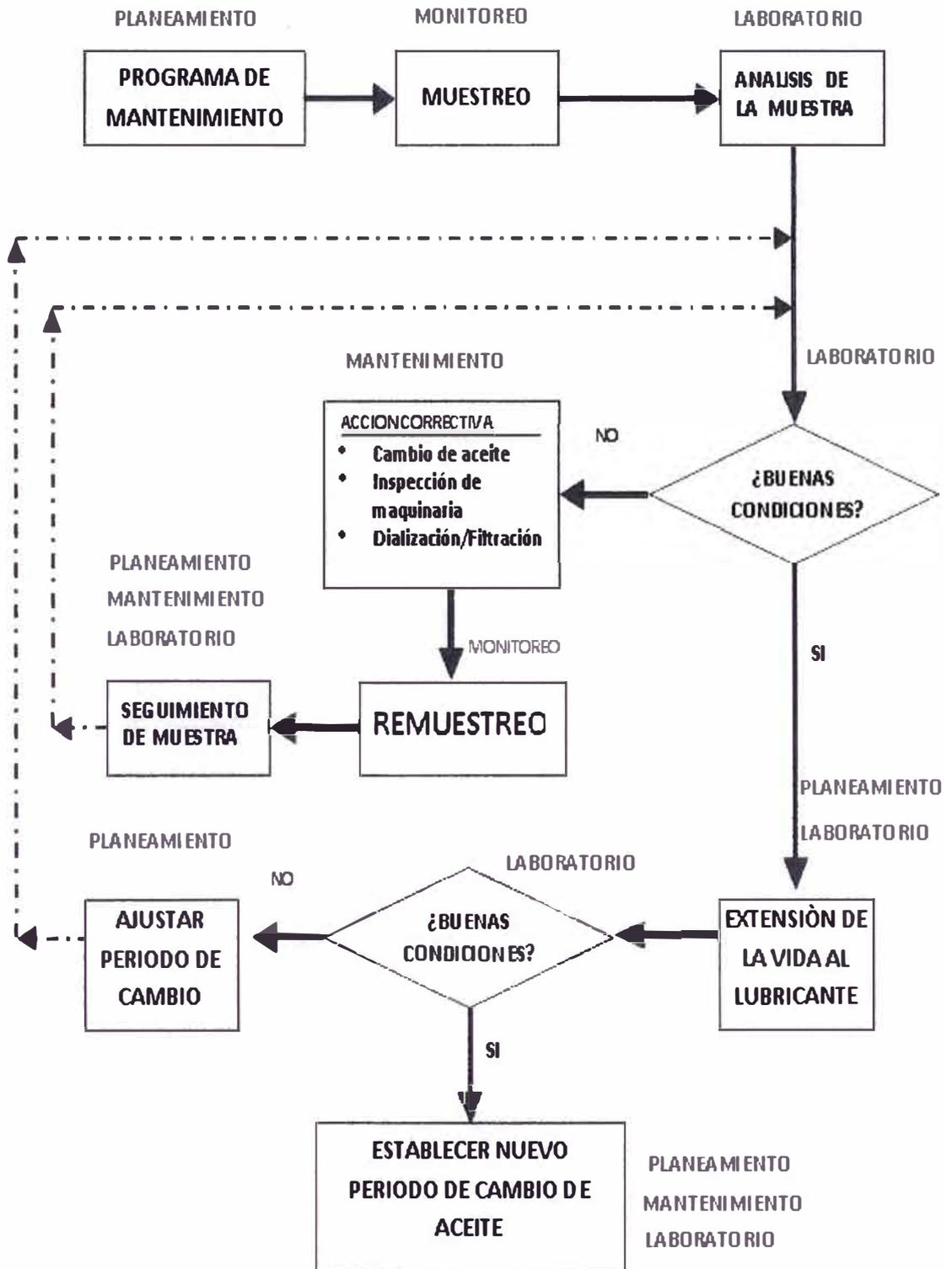
Área ejecutora de los trabajos programados e imprevistos determinados por el área de Producción (Campo u Operaciones).

Ejecuta la programación de mantenimiento, mantenimientos preventivos, correctivo, reparaciones generales, atención de fallas imprevistas mayores.

Registrar en forma fidedigna la información de Reparaciones efectuadas (usar las fallas como fuente de información). Asegurar la entrega a tiempo de esta información al departamento de Planeación.

### **Área Monitoreo.**

No es un área propiamente dicha puede sin embargo formar parte de otras áreas por ejemplo formar parte de Planificación, pero su fin principal es llevar el control de todo lo que se refiere a la toma de muestras, el llenado correcto de la información correspondiente, su ingreso al sistema y la programación del muestreo de los lubricantes. Es un equipo bien entrenado con las técnicas de muestreo enseñadas en el acápite 2.1.6.



**Figura N° 55: Muestra de las Diversas Interfaces en Análisis de Aceites.**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

### **2.3- Administración del Programa de Análisis de Aceite.**

Un adecuado Programa de Análisis de aceites debe de ser capaz de manejar indicadores propios con el cual poder medir la gestión realizada, esto puede ser hecho en forma mensual y anual de cómo se van ejecutando los planes de acción establecidos en el Programa. Las actuales demandas de confiabilidad exigen a quienes ejecutan un Programa de Análisis de Aceites disponer una forma de cuantificar los resultados obtenidos:

#### **2.3.1 Indicadores del Programa de Análisis de Aceites**

##### **2.3.1.1 Eficiencia de la Ejecución de la Programación de Muestreo**

Estos indicadores miden el grado de cumplimiento del programa de muestreo.

- Número de Muestras programadas.
- Número de Muestras tomadas y analizadas.
- Número de muestras No tomadas.

##### **2.3.1.2 Indicadores de Criticidad del Monitoreo**

- Número de Muestras Críticas.
- Número de Muestras Alerta
- Número de Muestras Normal
- % de Muestras en Estado Normal.

##### **2.3.1.3 Indicadores de Síntomas de Falla**

Frecuencia de Síntomas de Falla por tipo de Maquinaria.

Este indicador nos va a indicar que con el transcurso del tiempo y si se toman las medidas correctivas necesarias (ver 3.3.2) los síntomas de falla en las maquinarias tenderán a bajar su incidencia y esto permitirá también la reducción del número de fallas de las maquinarias, y reducir el tiempo de demoras mecánicas en el taller de mantenimiento.

##### **2.3.1.4 Indicadores de Objetivos de Limpieza**

En este caso, el análisis del aceite - y específicamente los datos de conteo de partículas- se convierte en indicadores de desempeño que se puede utilizar para medir la conformidad con las metas u objetivos

de limpieza de las maquinarias que han sido definidas según el grado de confiabilidad que desean obtener las empresas.

### 2.3.1.5 Relación entre los Indicadores del Programa de Análisis de Aceites y los Indicadores de Mantenimiento.

Como se explicó en acápite anterior la madurez de un Programa de Análisis de Aceites Lubricantes se verá reflejado en la menor número de fallas de los componentes lubricados de las maquinarias, esto traerá como consecuencias un aumento de la vida relativa de los componentes, una reducción del tiempo de demoras mecánicas, un aumento del tiempo efectivo para las operaciones, menos paradas, un aumento del tiempo medio entre paradas y entre fallas, un aumento de la disponibilidad mecánica y un aumento en la utilización de las maquinarias lo que trae consigo mayores ingresos y utilidades a las empresas.

Todas estas variables se ven reflejadas en las siguientes fórmulas que relacionan a estos indicadores de mantenimiento.

**Tabla N° 23: Indicadores de Mantenimiento**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

INDICADOR	SIMBOLO	FORMULA	Nº Ecu
Horas Totales Calendarias	TT =	365*24	
Horas de Paradas Programadas	Dsch =	Navidad, Año Nuevo	
Horas Programadas	HP =	TT - Dsch	(21)
Demoras Mecánicas	HDM =	Dato	
Demoras Operativas	HDOP =	Dato	
Demoras No Operativas	HDNOP =	Dato	
Tiempo Operativo Efectivo	Ho =	TT-Dsch-HDM-HDOP-HDNOP	(22)
Número de Paradas	Np =	Dato	
Número de Fallas	Nf =	Dato	
Tiempo Medio Entre Paradas	MTBS =	Ho/Np	(23)
Tiempo Medio Entre Fallas	MTBF =	Ho/Nf	(24)
Tiempo Medio Para Reparar	MTTR =	HDM/Np	(25)
Disponibilidad Mecánica	Dmc =	MTBF/(MTBF+MTTR)	(1)

Con esto se ha logrado demostrar los principales **Objetivos del Programa de Análisis de Aceites**: Cómo se pueden reducir la frecuencia de fallas en las maquinarias lubricadas; cómo las empresas pueden aumentar la disponibilidad de sus maquinarias lo que equivale a aumentar el tiempo medio entre fallas (MTBF), cómo reducir los costos por conceptos de mantenimiento correctivo-preventivo y aumentar las utilidades en las empresas.

### **2.3.2- Establecimiento de Tendencias Estadísticas en Los Resultados de Análisis de Los Equipos.**

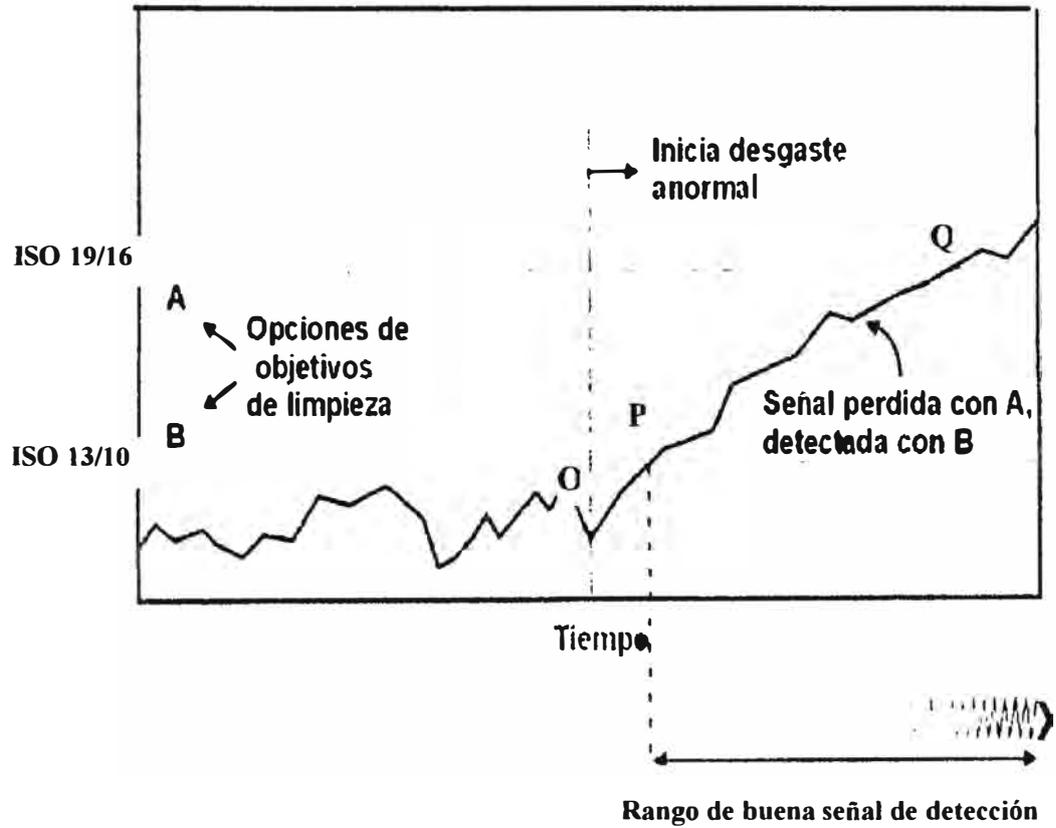
El establecimiento de las tendencias estadísticas son importantes porque permite de manera gráfica identificar algún progreso en la tasa de desgaste (en ppm/h) de algún componente o el incremento del nivel de contaminación expresado por el código ISO de limpieza o también el progreso de la degradación del lubricante medido a través de su nivel de acidez TAN.<sup>43</sup>

En la siguiente gráfica se muestra cómo si se usa dos códigos ISO de limpieza como nivel de objetivo y se realiza el monitoreo del nivel de contaminación con respecto al tiempo, se puede observar que un margen alto como objetivo del nivel de limpieza de un equipo no permite detectar el inicio de un desgaste anormal, sólo es detectado cuando el progreso de una falla ya tiene un nivel avanzado:

Hasta el punto "O" el nivel de limpieza del lubricante según los dos objetivos de limpieza: ISO 19/16 (A) e ISO 13/10 (B) están dentro de sus límites respectivos, pero en este punto va a iniciar un desgaste anormal, luego con el transcurso del tiempo en el punto "P" el desgaste anormal es detectado con el objetivo de limpieza B, pero no es detectado con el objetivo A, recién en el punto "Q" este desgaste es detectado por este objetivo de limpieza, lo que nos da un tiempo demasiado largo (tiempo transcurrido entre los puntos P y Q), en el cual el desgaste ha progresado corriéndose el riesgo de estar ya dentro de una reacción en cadena de desgaste (ver 1.7.5).

---

<sup>43</sup> Smith, Mark; 2000; Taking the mystery of interpreting ... Obra Citada.



**Figura N° 56: Tendencia Estadística del Monitoreo del Nivel de Limpieza.**

Ref. James C. Fitch. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

### **CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES.**

La etapa final es evaluar (típicamente sobre una base anual) la eficacia del programa del análisis del aceite. Esto incluye una evaluación del costo - beneficio, de los costos de mantenimiento salvados o ahorrados debido al análisis del aceite, de la comprobación del incremento del tiempo medio entre fallas de los equipos y del incremento de la productividad entre otros beneficios.

El análisis de aceite es más efectivo cuando se utiliza para seguir las mediciones o las pruebas de análisis dispuestas en la etapa de inicial del Programa. Por ejemplo, si una de las metas es mejorar los niveles globales de limpieza de los fluidos en los sistemas hidráulicos de la planta usando filtración mejorada. En este caso, el análisis del aceite (y específicamente los datos de conteo de partículas) se convierte en una medida de desempeño que se puede utilizar para medir la conformidad con las metas fijadas de confiabilidad.

Las medidas proporcionan responsabilidad, no solo por aquellos directamente involucrados con el programa del análisis del aceite, también para la planta entera, enviando un mensaje claro que la lubricación y el análisis del aceite son una parte importante de la estrategia de la planta para alcanzar los objetivos de mantenimiento y de producción.<sup>44</sup>

#### **3.1- Monitoreo del Programa periódico con el fin de determinar desviaciones o ponderaciones al programa.**

Una vez localizada la causa de falla debe procederse a su eliminación y control, y efectuar un análisis de aceite para monitorear y verificar que la acción tomada ha sido efectiva.

Si la acción tomada no ha sido efectiva entonces se debe cuantificar la desviación respecto a los objetivos de confiabilidad y llevar a cabo acciones que eliminen esto de forma que los resultados sean acordes a lo deseado.

---

<sup>44</sup> Troyer Drew; Setiembre – Octubre 002; Alineando su Programa de Análisis de Aceites con Estrategias Modernas sobre el Equipo.

En los casos que los resultados sean los esperados se debe ponderar aquellas medidas tomadas y usarlo en el mejor de los casos como Mejor Práctica, estandarizarlas y documentarlas para que puedan ser tomadas como referencia. En esta etapa de monitoreo se revisa cuales son las acciones y que rutas de monitoreo se utilizan para la adecuada gestión del programa.

### **3.2- Beneficios y Ahorros del Programa.**

#### **3.2.1- Análisis Económico del Programa.**

Los beneficios y el análisis económico se mostrarán en el acápite 5.9.1.

### **3.3 Mejora Continua, Retroalimentación**

La etapa de Evaluación de la Eficacia permite la mejora continua del programa re alineando el programa con los preexistentes o nuevos objetivos de confiabilidad.

Los procedimientos escritos como Mejor Práctica son un excelente punto de partida para las organizaciones involucradas en procesos de mejora continua. La documentación nos permitirá además, establecer sistemas de control que aseguren que las tareas han sido efectuadas adecuadamente.

La retroalimentación permitirá progresivamente mejorar el Programa de Análisis de Aceites haciéndolo cada vez más efectivo y cada vez más importante.

Puede haber poca duda que el análisis del aceite es una parte integral de cualquier programa de mantenimiento basado en condición. Cuando es utilizado con eficacia, puede advertir de una falla inminente, nos dirige a la causa raíz de un problema, o señala las áreas de la oportunidad que quizás no se sabía que habían existido. Sin embargo, no simplemente se puede asumir que llenando una botella de muestra con aceite y enviándola a un laboratorio esto por sí sólo producirá los resultados que se desea.

#### **3.3.1- Ajustar las metas y límites de los equipos.**

Como en todo proceso de mejora continua la revisión de las metas y de los límites se convierte en algo necesario para el éxito del programa. Se debe bajo un análisis estadístico modificar y mejorar los límites usados para el monitoreo de los resultados de análisis, esto permite si es que se han estado usando los límites propuestos por los fabricantes de equipos o de

lubricantes, tener límites de operación propios que satisfagan los requerimientos de lubricación en el sitio donde se los aplique.

### 3.3.2 Uso de los Resultados para tomar decisiones basadas en el Monitoreo de Condición.

Todo efectivo Programa de Análisis de Aceites debe contemplar el uso de cursos de acción que permita tomar decisiones basadas en el monitoreo de la condición, por ello es que ante un resultado que alerte de un síntoma de falla en progreso o ante una inminente falla es que se deben tomar las medidas necesarias y oportunas que permitan corregir esta condición y así evitar una parada inesperada de un equipo o de todo un proceso productivo. Un programa moderno de Análisis de Aceites utiliza la tecnología, los conocimientos de la operación del equipo y los resultados del análisis de aceites para establecer acciones específicas de mantenimiento y permitir una lubricación óptima, construyendo proactivamente la confiabilidad de la maquinaria.

A continuación se presentan una serie de medidas que pueden ser tomadas basados en la experiencia.

**Tabla N° 24: Cursos de Acción Basado en el Monitoreo de Condición.**

Ref. Manual de Lubricación. Maraven, Venezuela

<b>AGUA EN EL ACEITE</b>	
<b>Causas Posibles</b>	<b>Correctivos</b>
a) Escape en el enfriador. b) Contaminación con agua por operar en áreas húmedas.	a) Reparar, asentar aceite y drenar para sacar el agua. b) 1. Sellar el sistema y usar filtro de aire absorbente en el respiradero. 2. Si cambia el nivel de aceite durante la operación, fijar trampa de agua en el respiradero. 3. Sellar sistema cuando el aceite esté frío, de tal manera que el sistema trabaje bajo presión e impida la entrada de humedad. 4. Asentar aceite y drenar para todos los casos anteriores.
<b>AIRE EN EL ACEITE</b>	
La presencia de aire en el aceite puede ser notada mediante la presencia de pequeñas burbujas en el aceite como también la formación de espuma en la superficie del mismo.	
<b>Causas Posibles</b>	<b>Correctivos</b>

<p>a) Entrada de aire en la bomba.  b) Cuerpo de la bomba flojo.  c) Sello de la bomba desgastado o roto.  d) Succión restringida resultando en aireación y cavitación.  e) Nivel de aceite bajo.  f) Alta viscosidad del aceite.  g) Turbulencia en el retorno del aceite.</p>	<p>a) Apretar las conexiones y juntas.  b) Apretar.  c) Reemplazar.  d) Limpiar malla y/o remover la obstrucción.  e) Añadir aceite.  f) Cambiar al grado correcto de viscosidad.  g) Cambiar la posición del tubo de retorno y si es posible instalar malla entre la entrada y salida del tanque para limitar el paso de las burbujas del sistema.</p>
---	---

**CORROSIÓN**

<b>Causas Posibles</b>	<b>Correctivos</b>
<p>a) Aceite inadecuado, ejm.  Antidesgaste a alta temperatura.</p> <p>b) Aceite a alta temperatura.</p> <p>c) Formación de ácidos en el aceite.</p>	<p>a) Verifique y cambie (del tipo inhibidor de herrumbre y corrosión) o a un antidesgaste estable.</p> <p>b) Si no se puede evitar cambiar a un aceite con alto índice de viscosidad.</p> <p>c) Verificar acidez total (TAN), si es más de 2 mgKOH/g cambiar el aceite.</p>

**ENNEGRECIMIENTO DEL ACEITE**

<b>Causas Posibles</b>	<b>Correctivos</b>
<p>a) Burbujas de aire rápidamente comprimidas, explotando, produciendo carbón negro y olor quemado.</p> <p>b) Recalentamiento de la empaquetadura de la bomba de aceite o material de la empaquetadura quemado.</p> <p>c) Formación de ácidos en el aceite.</p>	<p>a) Verifique y cambie del tipo inhibidor de herrumbre y corrosión) o a un antidesgaste estable.</p> <p>b) Asentar el aceite, filtrarlo con papel de 5 micrones y eliminar la causa del calentamiento de la empaquetadura (debido usualmente a un excesivo ajuste de la empaquetadura.).</p> <p>c) Verificar acidez total (TAN), si es más de 2 mgKOH/g cambiar el aceite.</p>

**ENTRABAMIENTO DE VALVULAS.**

<b>Causas Posibles</b>	<b>Correctivos</b>
<p>a) Suciedad.</p> <p>b) Juego excesivo, carga desbalanceada.</p> <p>c) Sedimentos de laca por recalentamiento del aceite usualmente sobre partes desgastadas.</p>	<p>a) Limpiar y reemplazar el filtro si es necesario.</p> <p>b) Ajustar los componentes nuevos.</p> <p>c) Verificar acidez total (TAN), si es más de 2 mgKOH/g cambiar el aceite.</p>

### **3.3.3- Expansión del Programa**

Una vez que un Programa de Análisis de Aceites adquiere un buen grado de madurez es natural que tienda a expandirse. Como se vio en el acápite 2.1.2, los equipos críticos que fueron seleccionados en esta etapa ya han logrado importantes beneficios producto de su monitoreo programado. Es entonces el momento de la expansión del programa.

### **3.3.4- Incorporación de otros equipos y/o otros equipos de análisis de laboratorio.**

Después de haberse elegido los equipos Críticos en función de su Importancia en el proceso productivo, el costo por tiempo de parada y por los riesgos asociados a la seguridad, en esta etapa se puede incorporar al Programa nuevos equipos, estos pueden denominarse auxiliares ya que su grado de criticidad no es considerable. También debe observarse que no todos los equipos de una empresa pueden incorporarse al Programa, esto se debe hacer en función de la cantidad incremental de muestras, el costo incremental de los análisis y la capacidad de análisis del laboratorio. También se debe considerar aquellos componentes que tienen bajo volumen de su compartimiento (por ejemplo 1 galón) en el cual el costo por muestreo y por análisis es mucho mayor que el costo de sólo cambiar el aceite y su programación de cambio se debe definir por periodos estándar (preventivo) y no por condición aún cuando si se analizara este aceite arrojara una buena condición.

En esta etapa también pueden incorporarse nuevos equipos de análisis que permitan determinar con mucha mayor precisión los causales potenciales de falla en las maquinarias lográndose una efectiva y más precisa interpretación de los resultados de análisis.

## **CAPITULO IV: OTRAS CONSIDERACIONES.**

### **4.1- Consideraciones Medioambientales y de Seguridad**

#### **4.1.1- Hojas de información para el manejo seguro de los lubricantes.**

En concordancia con el **Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, DS 046-2001-EM Subcapítulo Diez: CONTROL DE SUSTANCIAS PELIGROSAS, Etiquetas y Hojas de Datos de Seguridad de Materiales (HDSM-MSDS)**, artículos 274 y 275 (pág. 138) todos los lubricantes que se utilizan en las unidades cuentan con sus respectivas hojas de seguridad.

Artículo 274.- El titular se asegurará se coloquen etiquetas adecuadas a todas las sustancias químicas almacenadas, así como aquellas que se encuentran en contenedores y dispensadores sino se destina el material en el contenedor-dispensador para su uso inmediato.

Artículo 275.- Es obligación del titular de la actividad minera mantener un archivo central de las hojas de seguridad (HDSM-MSDS), las que son puestas a disposición de los trabajadores para que se familiaricen con la información que contiene cada material que manipulan.

#### **4.1.2- Protección ambiental en el manipuleo de lubricantes.**

En concordancia con el **Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, DS 046-2001-EM, Capítulo II, Subcapítulo Uno, Manejo de Materiales, Almacenamiento y Manipuleo.**

**Artículo 292. Inciso c):** Los materiales como tuberías, tambores o cilindros deben ser almacenados en repisas especialmente diseñadas y adecuadamente afianzadas. Las plataformas de carga usadas para apilar deben estar en buen estado. El encargado es responsable de asegurar que las dañadas sean descartadas o reparadas inmediatamente.

**4.1.3- Disposición del aceite usado.**

En concordancia con el **Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, DS 046-2001-EM, Capítulo II, Subcapítulo Uno, Manejo de Materiales, Disposición de desechos. Pág. 150**

**Artículo 294.-** Los desechos industriales producidos como ganga, desmonte, relaves, aguas ácidas entre otros deberán ser almacenados o encapsulados en botaderos o lugares diseñados para garantizar su estabilidad física y química.

**Artículo 295.-** El titular debe asegurarse que todos sus trabajadores se encuentren instruidos sobre la definición y reconocimiento de basura, desechos o material de reciclaje, que debe destinarse lugares específicos para los basureros debidamente identificadas y señalizadas. La frecuencia de retiros es determinada por el responsable del área de trabajo.

## **CAPITULO V: APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROGRAMA PROPUESTO.**

### **ESCENARIO**

El estado actual de la lubricación en la empresa minera en donde se desarrolla el Programa de Análisis de Aceites, se manifiesta en inadecuadas prácticas de manejo, manipulación y cambios de aceite, un principal factor que afecta a la buena operación y desempeño es la contaminación, esta se presenta de muchas formas siendo la que más daño causa la asociada a la contaminación por partículas.

Por lo general del 70 al 80% de las fallas mecánicas son asociadas por el desgaste de las superficies y este desgaste es asociado a la contaminación por partículas sólidas. Esto quiere decir que si se controla la contaminación entonces se puede controlar el desgaste y si se controla el desgaste se pueden reducir las fallas mecánicas.

El Laboratorio de lubricantes que tiene esta empresa está en un proceso de Monitoreo de la Contaminación de los sistemas hidráulicos de los equipos pesados e informa de la condición actual de cada equipo, pero poco o nada se está haciendo para empezar una fase de Control de Contaminación efectiva.

### **Etapas Iniciales del Programa de Análisis de Aceites**

#### **5.1 Selección de los equipos mecánicos críticos y de sus componentes a ser considerados en el programa de análisis de aceites.**

La elección de los equipos y componentes son seleccionados solamente en función de su importancia en el proceso productivo y por el riesgo asociado a la seguridad. Ver el acápite 2.1.2.

##### **5.1.1 Importancia en el Proceso productivo.**

Del pool de maquinarias con que cuente una empresa se deberá confeccionar un listado y se aplicará la calificación en función a su

importancia en el proceso productivo, para esto se usará lo estipulado en la figura N° 33.

**Tabla N° 25: Selección de Equipos según la importancia en el Proceso Productivo**

Ref. programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

<b>Equipos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Grado de Importancia en el Proceso Productivo</b>	<b>Calificación</b>
DM45E-01	<b>PERFORADORA</b>	MUY ALTA	6
DM45E-02	<b>PERFORADORA</b>	MUY ALTA	6
DM45E-03	<b>PERFORADORA</b>	MUY ALTA	6
DM45E-04	<b>PERFORADORA</b>	MUY ALTA	6
365CL-01	<b>EXCAVADORA CAT</b>	ALTA	4
365CL-02	<b>EXCAVADORA CAT</b>	ALTA	4
365CL-03	<b>EXCAVADORA CAT</b>	ALTA	4
PC600-04	<b>EXCAVADORA KOMATSU</b>	ALTA	4
PC600-05	<b>EXCAVADORA KOMATSU</b>	ALTA	4
PC600-07	<b>EXCAVADORA KOMATSU</b>	ALTA	4
PQA 627	<b>CAMIONETA</b>	MEDIA	2
PQA 628	<b>CAMIONETA</b>	MEDIA	2
PQA 629	<b>CAMIONETA</b>	MEDIA	2
PIP 693	<b>CAMIONETA</b>	MEDIA	2

Entonces se seleccionará las perforadoras y las excavadoras por ser las que tienen una muy alta y alta importancia en el proceso productivo respectivamente. Las camionetas se consideran según el grado de madurez del Programa de Análisis de Aceites.

### **5.1.2 Riesgos Asociados a la Seguridad.**

Para la calificación se usará solamente los factores de severidad esperada y de Probabilidad esperada, para esto se asignará el valor de 1 (uno) al factor de incidencia.

**Tabla N° 26: Selección de Equipos en Función al Riesgo Asociado a la Seguridad**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

Equipos	Severidad Esperada	Probabilidad Esperada	V.E.P.	Rango de Riesgo
DM45E-01	2	2	4	Moderado
DM45E-02	2	2	4	Moderado
DM45E-03	2	2	4	Moderado
DM45E-04	2	2	4	Moderado
365CL-01	1	3	3	Moderado
365CL-02	1	3	3	Moderado
365CL-03	1	3	3	Moderado
PC600-04	1	3	3	Moderado
PC600-05	1	3	3	Moderado
PC600-07	1	3	3	Moderado
PQA 627	0.5	3	1.5	Bajo
PQA 628	0.5	3	1.5	Bajo
PQA 629	0.5	3	1.5	Bajo
PIP 693	0.5	3	1.5	Bajo

Como se puede apreciar tanto las perforadoras como las excavadoras presentan un moderado riesgo en cuanto a la seguridad entonces también con doble razón son consideradas en el Programa de Análisis de Aceites.

Habiéndose seleccionado los componentes de mayor criticidad, se seleccionaran los siguientes componentes de los equipos:

Las siguientes tablas incluyen las capacidades del reservorio contenedor respectivo en galones y el lubricante utilizado.

**Tabla N° 27: Lubricante Usado por cada componente según Equipo**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

<b>PERFORADORAS DM45E</b>			
	COMPONENTE	CAP.	LUBRICANTE
1	MOTOR	18	RIMULA X 15W40
2	S. HIDRAULICO	82	TELLUS 37
3	COMPRESOR	38	MADRELLA AS 68
4	CABEZAL DE ROTACION	7.5	SPIRAX A 80W90
5	BOMBA DE AGUA	0.2	RIMULA D 40
6	CAJA REDUCTORA	1.5	SPIRAX A 80W90
7	PTO	1.5	SPIRAX A 80W90
8	M.F. DERECHO	1.5	OMALA 220
9	M.F. IZQUIERDO	1.5	OMALA 220

<b>EXCAVADORA KOMATSU PC600</b>			
	<b>COMPONENTE</b>	<b>CAP.</b>	<b>LUBRICANTE</b>
<b>1</b>	MOTOR	<b>10</b>	RIMULA X 15W40
<b>2</b>	S. HIDRAULICO	<b>95</b>	RIMULA D 10W
<b>3</b>	M.F.DERECHO	<b>3.5</b>	RIMULA D 30
<b>4</b>	M.F.IZQUIERDO	<b>3.5</b>	RIMULA D 30
<b>5</b>	PTO	<b>2</b>	RIMULA D 30
<b>6</b>	REDUCTOR GIRO DERECHO	<b>3</b>	RIMULA D 30
<b>7</b>	REDUCTOR GIRO IZQUIERDO	<b>3</b>	RIMULA D 30

<b>EXCAVADORA 365CL</b>			
	<b>COMPONENTE</b>	<b>CAP.</b>	<b>LUBRICANTE</b>
<b>1</b>	MOTOR	15	RIMULA X 15W40
<b>2</b>	S. HIDRAULICO	85	DONAX TC 10W
<b>3</b>	M.F.DERECHO	4	DONAX TC 50
<b>4</b>	M.F.IZQUIERDO	4	DONAX TC 50
<b>5</b>	MOTOR GIRO DERECHO	4	DONAX TC 50
<b>6</b>	MOTOR GIRO IZQUIERDO	4	DONAX TC 50

Cabe señalar que la marca del lubricante no es determinante para el éxito de un Programa de Análisis de Aceites, si bien es importante seleccionar una marca de lubricante de un proveedor reconocido nacional o internacional que brinde lubricantes de alta calidad y que sea homologado por las normas SAE, ISO, AGMA, etc.

### **5.2 Selección de la Frecuencia de Muestreo.**

De la tabla siguiente se puede sacar los intervalos típicos para los componentes de estas maquinarias.

$$Frecuencia.de.Muestreo = \frac{Periodo.de.Cambio.de.Aceite}{Intervalo.Estándar.de.Muestreo}$$

**Tabla N° 28: Intervalos y Frecuencia de Muestreo**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

<b>Componente</b>	<b>Intervalo Estándar de Muestreo (h)</b>	<b>Periodo de Cambio de Aceite (h)</b>	<b>Frecuencia de Muestreo x Mes</b>
Compresores	500	2000	4
Engranajes de Alta velocidad	500	2000	4
Mandos finales	500	2000	4
Hidráulicos	250	2000	8
Motores diesel	250	250	1

Tanto las excavadoras como las perforadoras trabajan un promedio de 16.67 h por día, entonces cada 15 días hacen un promedio de 250 h, por lo tanto en cada periodo de 2000 h por ejemplo un aceite de motor diesel (muestreado cada 250 h) deberá tener 8 muestras acumuladas para monitoreo de sus tendencias. Cada 2000 h por lo general a las maquinarias se le realiza un mantenimiento general y todos los aceites son drenados y cambiados por uno nuevo y por lo general cada 250 horas se realizan en las maquinarias pesadas mantenimientos preventivos (MP) y allí sólo se cambian los aceites de motor. Con estos datos y los intervalos se puede confeccionar la siguiente tabla que indica la cantidad de muestras que se deben tomar cada mes a los equipos monitoreados.



**Tabla N° 30: Cantidad de Muestras Mensuales por 3 Excavadoras  
Komatsu**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

<b>EXC. KOMATSU PC600 4,5,7</b>		<b>N° de muestras x Equipo al mes</b>	<b>N° total de muestras al mes</b>
	<b>COMPONENTE</b>		
<b>1</b>	MOTOR	2	6
<b>2</b>	S. HIDRAULICO	2	6
<b>3</b>	M.F.DERECHO	1	3
<b>4</b>	M.F.IZQUIERDO	1	3
<b>5</b>	PTO	1	3
<b>6</b>	REDUCTOR GIRO DERECHO	1	3
<b>7</b>	REDUCTOR GIRO IZQUIERDO	1	3
		<b>9</b>	<b>27</b>

**Tabla N° 31: Cantidad de Muestras Mensuales por 3 Excavadoras CAT.**  
Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

<b>EXCAVADORA 365CL- 1,2,3</b>		<b>N° de muestras x Equipo al mes</b>	<b>N° total de muestras al mes</b>
	<b>COMPONENTE</b>		
<b>1</b>	MOTOR	2	6
<b>2</b>	S. HIDRAULICO	2	6
<b>3</b>	M.F.DERECHO	1	3
<b>4</b>	M.F.IZQUIERDO	1	3
<b>5</b>	MOTOR GIRO DERECHO	1	3
<b>6</b>	MOTOR GIRO IZQUIERDO	1	3
		<b>8</b>	<b>24</b>

Adicionalmente se pueden confeccionar las siguientes tablas que indican la cantidad de muestras que se deben tomar en cada periodo de 2000 horas por cada tipo de equipo

**Tabla N° 32: Cantidad de Muestras por Tipo de Equipo en un Periodo de 2000 horas.**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

Muestreo Según el Tipo de Mantenimiento Preventivo MP									
EXCAVADORA 365CL	MP 250	MP 500	MP 750	MP 1000	MP 1250	MP 1500	MP 1750	MP 2000	Total Muestras
MOTOR	X	X	X	X	X	X	X	X	8
S. HIDRAULICO	X	X	X	X	X	X	X	X	8
M.F.DERECHO		X		X		X		X	4
M.F.IZQUIERDO		X		X		X		X	4
MOTOR GIRO DERECHO		X		X		X		X	4
MOTOR GIRO IZQUIERDO		X		X		X		X	4
<b>Cantidad de Muestras Analizadas por Equipo. Periodo de 2000 h:</b>									<b>32</b>

Muestreo Según el Tipo de Mantenimiento Preventivo MP									
PERFORADORA IR	MP 250	MP 500	MP 750	MP 1000	MP 1250	MP 1500	MP 1750	MP 2000	Total Muestras
MOTOR	X	X	X	X	X	X	X	X	8
S. HIDRAULICO	X	X	X	X	X	X	X	X	8
COMPRESOR		X		X		X		X	4
CABEZAL DE ROTACION		X		X		X		X	4
BOMBA DE AGUA		X		X		X		X	4
CAJA REDUCTORA		X		X		X		X	4
PTO		X		X		X		X	4
M.F. DERECHO		X		X		X		X	4
M.F. IZQUIERDO		X		X		X		X	4
<b>Cantidad de Muestras Analizadas por Equipo. Periodo de 2000 h:</b>									<b>44</b>

Muestreo Según el Tipo de Mantenimiento Preventivo MP									
EXCAVADORA PC600	MP 250	MP 500	MP 750	MP 1000	MP 1250	MP 1500	MP 1750	MP 2000	Total Muestras
MOTOR	X	X	X	X	X	X	X	X	8
S. HIDRAULICO	X	X	X	X	X	X	X	X	8
M.F.DERECHO		X		X		X		X	4
M.F.IZQUIERDO		X		X		X		X	4
PTO		X		X		X		X	4
REDUCTOR GIRO DERECHO		X		X		X		X	4
REDUCTOR GIRO IZQUIERDO		X		X		X		X	4
<b>Cantidad de Muestras Analizadas por Equipo. Periodo de 2000 h:</b>									<b>36</b>

## Etapa de Implementación del Programa de Análisis de Aceite.

### 5.3 Objetivos de limpieza y Límites.

En la siguiente tabla en función a las pruebas realizadas por la **Asociación Británica de Investigación en Hidromecánica (BHRA)** se muestran los factores relativos de extensión de vida para maquinaria hidráulica en función al nivel de limpieza y al promedio de horas entre fallas, para esto se asignó arbitrariamente un factor de 1 al nivel de limpieza ISO 18/15 (usando sólo 2 dígitos) tomando en este nivel de limpieza el valor de 1050 como pivote y dividiendo el promedio de horas entre fallas por este número se generan los factores relativos de vida útil. Como se puede apreciar a niveles de limpieza más limpios se puede lograr una ampliación de vida de los componentes hidráulicos. Esto por supuesto que puede ser logrado con la ayuda de un equipo de microfiltrado dializador.

**Tabla N° 33: Tabla Pivot para hallar los beneficios de ampliación de vida útil**  
Ref. Asociación Británica de Investigación en Hidromecánica (BHRA)

	Código ISO Promedio	Promedio de Horas entre Fallas	Factor Relativo de Vida Util
<b>Menos Vida Util</b>	24/21	200	0.19
	23/20	250	0.24
	22/19	325	0.31
	21/18	430	0.41
	20/17	600	0.57
	19/16	800	0.76
	18/15	1050	1
<b>Mayor Vida Util</b>	17/14	1400	1.33
	16/13	1900	1.81
	15/12	2600	2.48
	14/11	3800	3.62
	13/10	5000	4.76
	12/9	6500	6.19
	11/8	9000	8.57
	10/7	20000	19.05

Usando la tabla anterior y con los datos de nivel de limpieza promedio se puede elaborar la siguiente tabla, donde el nivel de limpieza actual de los hidráulicos se alcanza luego de 2000 h de operación.

**Tabla N° 34: Factores de Ampliación de Vida Útil según Tipo de Equipo.**

Ref. Programa de Análisis de Aceites. Campamento Minero Andean.

SISTEMAS HIDRAULICOS	Nivel de Limpieza Actual	Nivel de Limpieza Después de 2000 h	Factor Relativo de Vida Útil
<b>EXCAVADORAS CATERPILLAR</b>			
365CL-01	19 /17/ 15	18 /16 /13	1,36
365CL-02	19 /17/ 14	18 /16 /13	1,36
365CL-03	20 /18 /15	18 /16 /13	1,81
<b>EXCAVADORAS KOMATSU</b>			
PC600-04	20 /18 /17	18 /16 /13	1,81
PC600-05	20 /18 /17	18 /16 /13	1,81
PC600-07	20 /18 /14	18 /16 /13	1,81
<b>PERFORADORAS DM45E</b>			
DM45E-01	20 /18/ 15	18 /16 /13	1,81
DM45E-02	19 /17/ 15	18 /16 /13	1,36
DM45E-03	19 /17/ 15	18 /16 /13	1,36
DM45E-04	19 /17/ 14	18 /16 /13	1,36
<b>Factor Promedio Relativo de Vida Útil</b>			<b>1,6</b>

Nivel de Limpieza Logrado con el Dializador: ISO: 16/14/11  
 Nivel de Limpieza Después de 2000 h ISO: 18/16/13

En la actualidad se tiene en promedio en los sistemas hidráulicos de los equipos pesados un nivel de limpieza ISO 20/18/15, lo que constituye un nivel típico en los fluidos hidráulicos. El aceite nuevo microfiltrado usando el microfiltrador Hidrotech UM-80 con filtros de alta eficiencia (  $\beta_1 = 500$  ) logra reducir la contaminación hasta un ISO 16/14/11 lo cual es un óptimo nivel de limpieza, una vez en operación y hasta las 2000 h el aceite puede incrementar su contaminación y llegar hasta un ISO 18/16/13. Entonces este código ISO vendría a representar el **Objetivo de Limpieza** y es tomado como referencia.

De la tabla anterior el factor promedio relativo de vida útil de **1.6** representa el factor de ampliación de vida relativa de los sistemas hidráulicos, esto quiere decir que si en la actualidad una bomba hidráulica dura unas 8000 horas hasta su falla completa entonces se puede hacerla durar hasta unas 12800 horas siempre y cuando se mantenga su nivel de limpieza dentro o debajo de 18/16/13.

Con este factor 1.6 que viene a ser el beneficio de ampliación de vida de los equipos, se puede afirmar que controlando la contaminación y usando la microfiltración así como el uso de respiradores y filtros de alta eficiencia en los aceites hidráulicos es posible aumentar la vida útil esperada de los principales componentes hidráulicos de los equipos pesados.

En la siguiente tabla se muestra los valores de los objetivos de limpieza óptimos de los componentes de los sistemas hidráulicos, esto en función de la presión de operación del equipo.

**Tabla N° 35: Objetivos de Limpieza de Sistemas Hidráulicos en Función de la Presión.**

Ref. James C. Fitch. Manual de Análisis de Aceites de Noria.

COMPONENTES	Presión de Operación (psi)		
	< 1500	1500 - 2500	> 2500
SERVO VALVULAS	16/14/12	15/13/11	14/12/10
VALVULAS PROPORCIONALES	17/15/12	16/14/12	15/13/11
BOMBA DE DESPLAZAMIENTO VARIABLE	17/16/13	17/15/12	16/14/12
VALVULA DE CARTUCHO	18/16/14	17/16/13	17/15/12
BOMBA DE PISTON DESPLAZAMIENTO FIJO	18/16/14	17/16/13	17/15/12
BOMBA DE PALETAS	19/17/14	18/16/14	17/16/13
VALVULA DE CONTROL FLUJO/PRESION (VRC, VRP)	19/17/14	18/16/14	17/16/13
VALVULA DE SOLENOIDE	19/17/14	18/16/14	18/16/14
BOMBA DE ENGRANES	19/17/14	18/16/14	18/16/14

Por ejemplo para una servo válvula cuyo sistema hidráulico trabaja a 3000 psi, le correspondería un objetivo de limpieza de 14/12/10, lo cual según la tabla siguiente es un aceite súper limpio, pero llegar a este nivel de limpieza cuando se inicia un programa de análisis de aceites no es muy aconsejable, se tiene que llegar por etapas a estos niveles de limpieza. Para esto en primer lugar se necesitaría cambiar todo el equipo de filtración por sistemas de alta eficiencia, que si bien son muy efectivos se tendría que comprobar que el circuito de tuberías por donde circula el sistema hidráulico está preparado para soportar el incremento de la presión diferencial que lleva consigo introducir sistemas

eficientes que supondrá el incremento de la presión que tendrán que soportar las bombas hidráulicas y para que no se produzcan problemas de cavitación y/o falta de lubricación en el circuito hidráulico.

**Tabla N° 36: Consecuencias a las Maquinarias en Función del Nivel de Limpieza**

Ref. Rob Simmonds, R&t Reliability Technologies.

CODIGO DE LIMPIEZA, ISO 4406							
Tipo de Fluido	14/12/9	16/14/11	18/16/13	19/17/14	20/18/15	22/20/17	24/22/19
Fluido Hidráulico	Super limpio	Muy limpio	Limpio	Inicia Desgaste	Sucio	Causando daño	Falla
Aceite de turbina y rodamientos	Super limpio	Muy limpio	Limpio	Inicia Desgaste	Sucio	Causando daño	
Aceite de Motor		Super limpio	Muy limpio	Limpio	Inicia Desgaste	Sucio	Causando daño
Aceite de Engranajes		Super limpio	Muy limpio	Limpio	Inicia Desgaste	Sucio	Causando daño
Aceite Nuevo				Por lo general entre estos niveles			

Entonces por lo anteriormente expuesto se puede seleccionar el objetivo de limpieza de 18/16/13 para todos los sistemas hidráulicos de los equipos pesados. Por lo tanto los valores de Alerta y Criticidad son los siguientes:

Prueba	Valor Superior	Tipo	Valor Inferior	Tipo
Conteo de Partículas	20/18/15	CRITICO	18/16/13	ALERTA

Los demás límites para los sistemas hidráulicos son los siguientes:

**Tabla N° 37: Límites Condensatorios de Análisis de Aceites por componente.**

Ref. Software Júpiter. Campamento Minero Andean.

Origen Aceite: **S. HIDRAULICO**

Código	Elemento	Valor Superior	Tipo	Valor Inferior	Tipo
000000010	Agua (% Vol)	20	CRITICO	05	ALERTA
000000013	Silicio (ppm)	30.00	CRITICO	10.00	ALERTA
000000014	Cobre (ppm)	70.00	CRITICO	35.00	ALERTA
000000012	Hierro (ppm)	50.00	CRITICO	25.00	ALERTA
000000015	Cromo (ppm)	15.00	CRITICO	8.00	ALERTA
000000011	TAN (mgr KOH/g)	2.00	CRITICO	1.50	ALERTA

Los límites para los motores diesel son los siguientes.

Origen Aceite: **MOTOR DIESEL**

Código	Elemento	Valor Superior	Tipo	Valor Inferior	Tipo
000000001	Dilucion (%Vol)	2.00	CRITICO	1.00	ALERTA
000000002	Agua (% Vol)	30	CRITICO	10	ALERTA
000000006	Silicio (ppm)	30.00	CRITICO	15.00	ALERTA
000000007	Cobre (ppm)	50.00	CRITICO	30.00	ALERTA
000000004	Hierro (ppm)	100.00	CRITICO	50.00	ALERTA
000000008	Plomo (ppm)	40.00	CRITICO	15.00	ALERTA
000000009	Cromo (ppm)	15.00	CRITICO	10.00	ALERTA
000000210	Hollin	1.10	CRITICO	.80	ALERTA
000000005	Aluminio (ppm)	20.00	CRITICO	8.00	ALERTA
000000003	TBN (mgr KOH/g)	5.00	ALERTA	3.00	CRITICO

Los límites para los mandos finales son los siguientes.

Origen Aceite: **M. F. DERECHO PC**

Código	Elemento	Valor Superior	Tipo	Valor Inferior	Tipo
000000260	Agua (% Vol)	30	CRITICO	.05	ALERTA
000000263	Aluminio (ppm)	90.00	CRITICO	30.00	ALERTA
000000264	Silicio (ppm)	200.00	CRITICO	100.00	ALERTA
000000261	TAN (mgr KOH/g)	2.00	CRITICO	1.50	ALERTA
000000265	Cobre (ppm)	200.00	CRITICO	100.00	ALERTA
000000262	Hierro (ppm)	400.00	CRITICO	200.00	ALERTA

Los límites para los reductores de giro son los siguientes.

Origen Aceite: REDUCTOR GIRO DERECHO PC

Código	Elemento	Valor Superior	Tipo	Valor Inferior	Tipo
0000000254	Agua (% Vol)	.30	CRITICO	.05	ALERTA
0000000257	Aluminio (ppm)	20.00	CRITICO	10.00	ALERTA
0000000258	Silicio (ppm)	60.00	CRITICO	30.00	ALERTA
0000000255	TAN (mgr KOH/g)	2.00	CRITICO	1.50	ALERTA
0000000259	Cobre (ppm)	200.00	CRITICO	100.00	ALERTA
0000000256	Hierro (ppm)	200.00	CRITICO	100.00	ALERTA

Los límites para los compresores son los siguientes.

Origen Aceite: COMPRESOR

Código	Elemento	Valor Superior	Tipo	Valor Inferior	Tipo
0000000097	Agua (% Vol)	.30	CRITICO	.05	ALERTA
0000000101	Cobre (ppm)	70.00	CRITICO	35.00	ALERTA
0000000102	Cromo (ppm)	15.00	CRITICO	8.00	ALERTA
0000000099	Hierro (ppm)	50.00	CRITICO	25.00	ALERTA
0000000098	TAN (mgr KOH/g)	2.00	CRITICO	1.00	ALERTA
0000000100	Silicio (ppm)	30.00	CRITICO	10.00	ALERTA

Los límites para los Cabezales y los PTO (Caja Reductora) son los siguientes.

Origen Aceite: PTO PC

Código	Elemento	Valor Superior	Tipo	Valor Inferior	Tipo
0000000109	Agua (% Vol)	.30	CRITICO	.05	ALERTA
0000000112	Aluminio (ppm)	30.00	CRITICO	10.00	ALERTA
0000000114	Cobre (ppm)	20.00	CRITICO	10.00	ALERTA
0000000111	Hierro (ppm)	300.00	CRITICO	100.00	ALERTA
0000000110	TAN (mgr KOH/g)	2.50	CRITICO	1.50	ALERTA
0000000113	Silicio (ppm)	80.00	CRITICO	40.00	ALERTA

#### **5.4 Inspección de las prácticas de lubricación y manejo de lubricantes.**

Para mayores detalles del estado situacional inicial tanto de la Gestión en Lubricación como del Control de la Contaminación remítase al **Anexo C Estado Situacional Inspección en Lubricación.**

#### **5.5- Control de la Contaminación en los Aceites Lubricantes.**

##### **5.5.1 Fase de Transición**

Antes de iniciar el programa, es necesario registrar las condiciones actuales de las maquinarias seleccionadas. Para esto se usa la **Ficha de Evaluación de Equipos para Monitoreo de Condición** para registrar los datos siguientes antes: El componente evaluado, el aceite usado, los parámetros operativos, el medioambiente de operación, el código ISO del nivel de limpieza inicial, el número de identificación de la muestra de aceite respectiva la concentración y tamaño de partículas, la cantidad de humedad y la temperatura del aceite de las maquinarias y demás datos relevantes. En el anexo D se muestran las fichas de los equipos monitoreados, las perforadoras DM45E, las excavadoras PC600 LC, y las excavadoras 365CL.

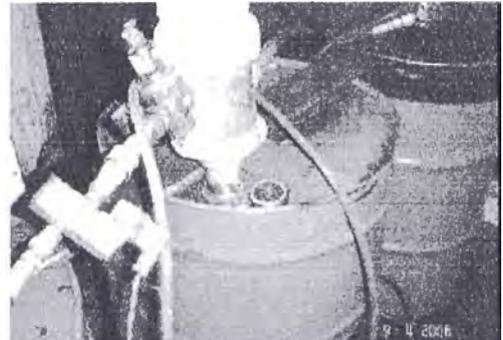
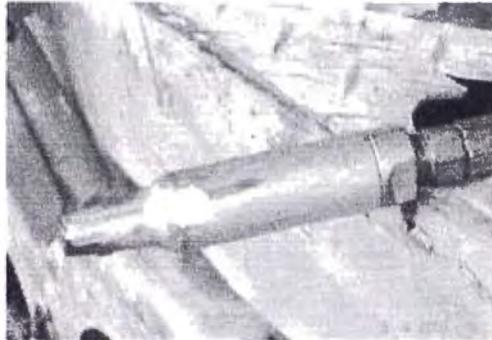
##### **5.5.2 Estrategias para lograr los Objetivos de Limpieza.**

Se deben establecer las acciones para evitar y controlar el ingreso de partículas en el sistema y designar las responsabilidades respectivas.

##### **Se utilizan dos Estrategias:**

**1) Exclusión:** Evitar que las partículas contaminantes ingresen a los componentes de las maquinarias.

Las siguientes fotos muestran las malas prácticas de lubricación y manejo de lubricantes que se deben evitar con el fin de conservar el lubricante limpio excluyendo la contaminación antes que el fluido ingrese a la maquinaria.

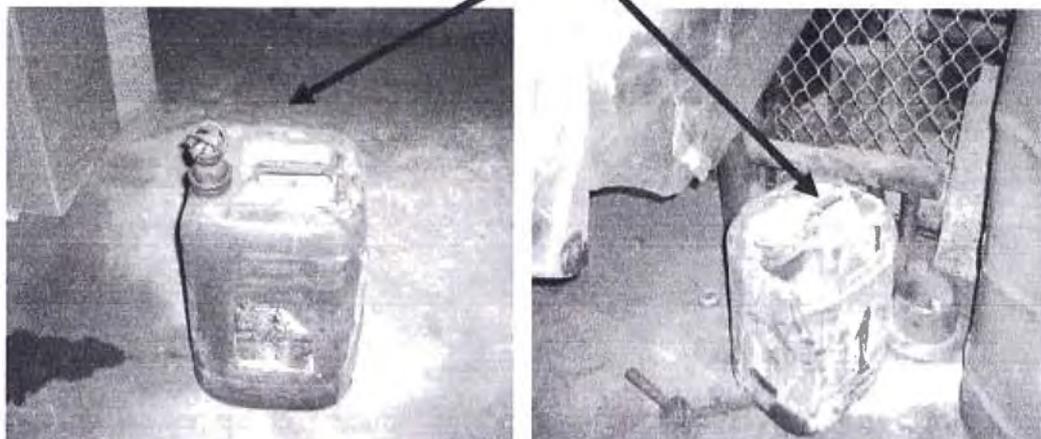


**Figura N° 58 a: Malas Prácticas de Lubricación**

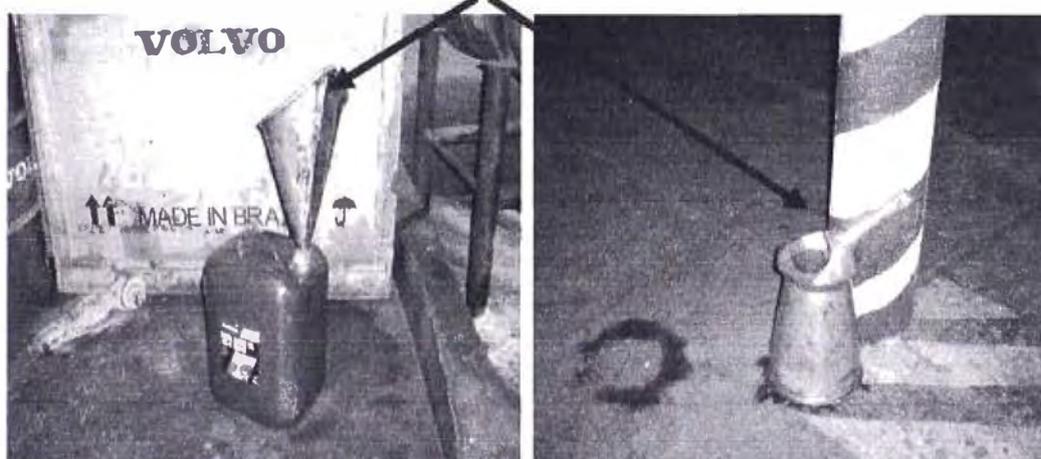
Ref. Taller del Campamento Minero Andean.

Se deben evitar las siguientes situaciones:

Tener bidones sucios



Tener embudos a la intemperie



**Figura N° 58 b: Malas Prácticas de Lubricación**

Ref. Taller del Campamento Minero Andean.

**2) Remoción:** Si han ingresado las partículas contaminantes entonces se las debe de retirar rápidamente.

Se toman dos medidas principales:

**Primera Acción:** Cambio de los filtros hidráulicos de las equipos pesados de eficiencia nominal por filtros absolutos de alta eficiencia.

A continuación se muestra los filtros que se usaban en los sistemas hidráulicos de las perforadoras DM 45E

**Tabla N° 38: Características de Filtros Hidráulicos de Baja Eficiencia de las perforadoras DM45E**

Ref. Donalson

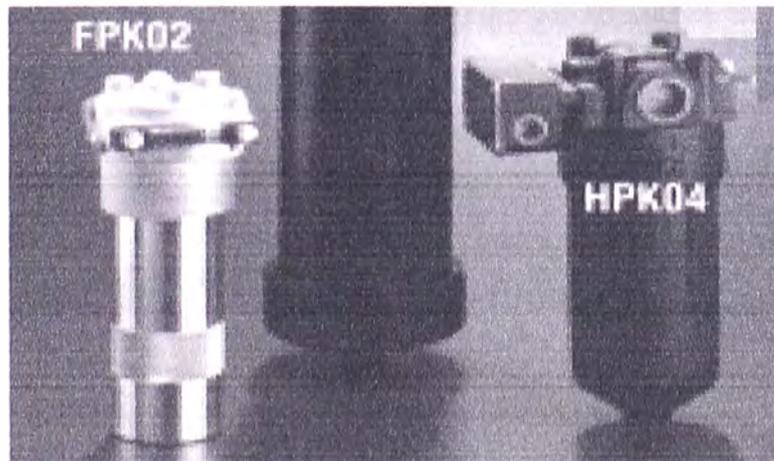
Serie Hidráulica	Rangos de Flujo retorno	Presión Trabajo	Medio de Filtrado	Micraje	Tasa Beta	$\Delta p$	DHC g ACFTD
	gpm	psi		$\mu\text{m}$		Bar	
CV5034349	0-30	2000	Celulosa	10	No Indica	No Indica	No Indica
CV5226318	0-100	6000	Celulosa	10	No Indica	No Indica	No Indica

A continuación se muestra los tipos de filtros de alta eficiencia que se han recomendado utilizar en los sistemas hidráulicos de las perforadoras DM45E.

**Tabla N° 39: Características de Filtros Hidráulicos de Alta Eficiencia de las perforadoras DM45E**

Ref. Hydrotech, Grupo Emgesa S.A.

Serie Hidráulica	Rangos de Flujo retorno	Presión Trabajo	Medio de Filtrado	Micraje	Tasa Beta	$\Delta p$	DHC g ACFTD
	gpm	psi		$\mu\text{m}$		Bar	
FPK02	0-30	2000	Fibra de Vidrio	3	200	2	11
HPK04	0-100	6000	Fibra de Vidrio	3	200	2	8.2



**Figura N° 59: Filtros de Alta eficiencia usados en las DM45E**

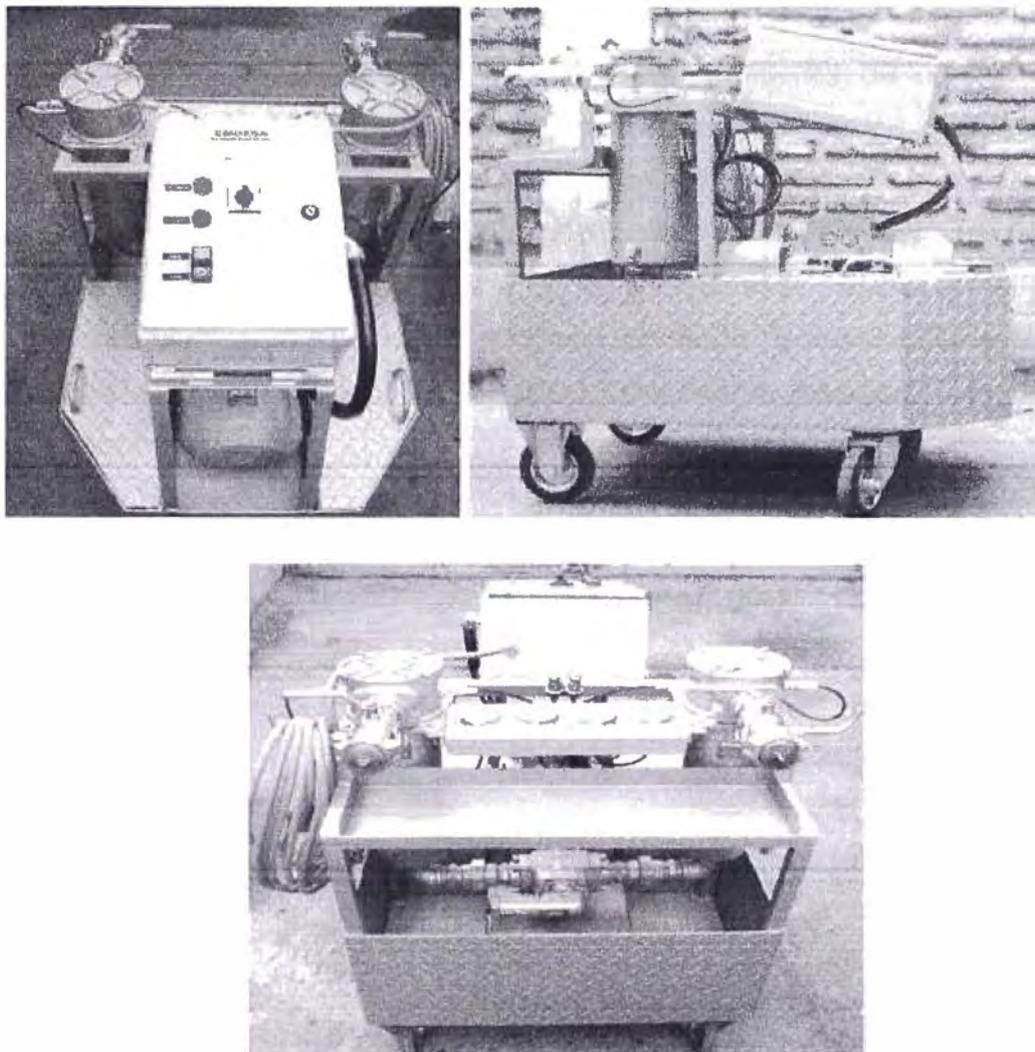
Ref. Hydrotech, Grupo Emgesa S.A.

Como ha podido apreciarse inicialmente se contaba con filtros nominales de 10 micrones pero no se conoce cual es su eficiencia ni su caída de presión ni su capacidad de retención de partículas. Dicho de otro modo se filtraba sin fundamento técnico con un nivel muy bajo de filtración.

**Segunda Acción.** Se utiliza un equipo de microfiltrado de Alta eficiencia.

A continuación se muestra las características técnicas del equipo de microfiltrado.

- **Marca** Hydrotech
- **Modelo** UM-80
- **Bomba** Kracht Alemania – 80 cm<sup>2</sup>/rev
- **Motor** Siemens Aleman – 7,5 Hp 380 Volts – 50 Hz
- **Caudal** 100 l/minutos en viscosidad ISO VG 32 hasta ISO VG 68
- **Caudal** 80 l/minutos en viscosidades ISO VG 100 hasta ISO VG 250
- **Filtración 1** Absoluta Beta 500 con Filtro de Salida a 3 Micras Mahle Aleman
- **Filtración 2** Nominal en la entrada con Filtro de 125 mesh + Filtros Magneticos Imanes
- **Control ISO** Monitor de contaminación ISO 4406 Parker – en Linea 4Um-6Um-14Um
- **Estructura** Plancha diamantada 4 mm espesor
- **Indicadores** Saturación y vacuometro
- **Test Point** Para muestras en la entrada y salida
- **Acoples Rápidos :** Camlock Rápidos de 1-1/4 en la entrada y salida
- **Mangueras** 10 metros en salida y en la entrada
- **Estructura** Caja porta herramientas en los costados
- **Acople union** Rotex Alemania entre Bomba y Motor
- **Campana** Protección entre bomba y motor Kracht Alemania Aluminio
- **Valvula Seg.** Valvula relief incorporada en la Bomba para seguridad de operador
- **Presion maxima :** 25 bar
- **Sistema electrico :** Tablero de control estrella triangulo General Electric.



**Figura N° 60: Vistas del equipo de Microfiltrado UM 80**

Ref. Hydrotech, Grupo Emgesa S.A.

Las características de la calidad del filtrado se detallan a continuación.

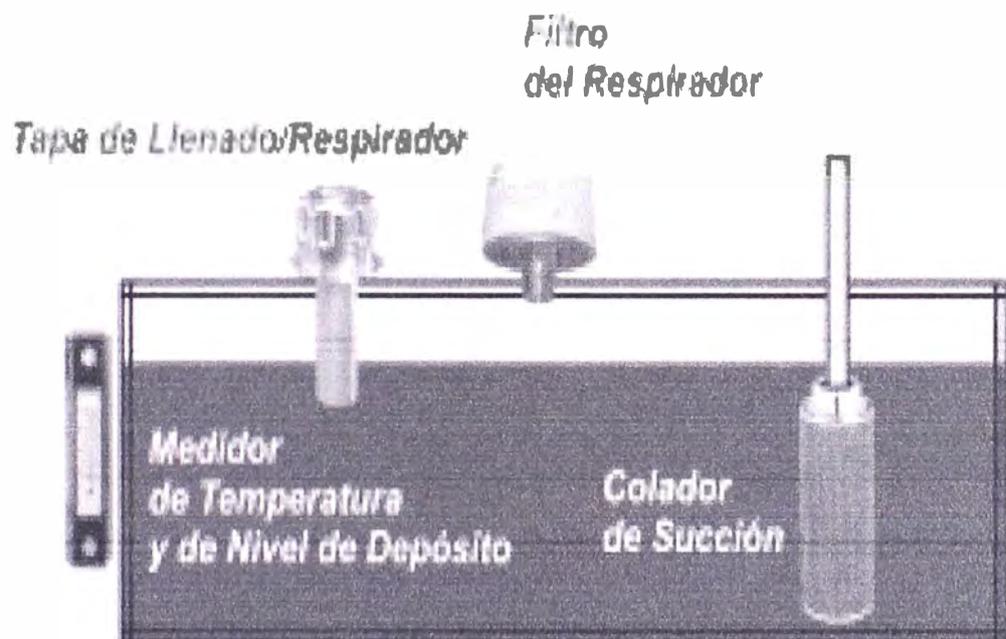
**Tabla N° 40: Características del Filtro del Microfiltrador UM 80**

Ref. Hydrotech, Grupo Emgesa S.A.

Serie Hidráulica	Rangos de Flujo retorno	Presión Trabajo	Medio de Filtrado	Micraje	Tasa Beta	$\Delta p$	DHC g ACFTD
	gpm	psi		$\mu\text{m}$		Bar	
UM-80	20-26	362.4	Fibra de Vidrio	3	500	3	100

### 5.5.3 Medir los Niveles de Limpieza Códigos ISO de los lubricantes.

Si se puede medir, se puede controlar. Entonces en función de los valores que reporten los análisis de aceites, de los códigos ISO, de los niveles de agua, del nivel de algún otro contaminante se aplicarán las acciones específicas al lubricante y su aplicación para minimizar y controlar los efectos que estos puedan causar a las maquinarias. Estas acciones permitirán verificar el desempeño de filtros, condición de sus componentes, rotura de sellos, decidir si se utiliza dialización, condición de los respiradores, etc.



**Figura N° 61: Tanque de microfiltrado para control de contaminación**

Ref. Corporación Des-Case. Catálogo de Control de la Contaminación.

### 5.6 Pruebas de rutina y por excepción

Una vez que se detecta alguna condición anormal, ya sea mediante inspección, pruebas de campo o análisis de rutina, se deberá efectuar pruebas por excepción, en las que el objetivo es la identificación del problema y lo más importante: la causa del problema. En esta etapa deberá considerarse la incorporación de otras estrategias de monitoreo de condición como termografía y análisis de vibración entre otras.

En la siguiente tabla se muestra en forma completa los análisis que se deben hacer a los aceites de los principales componentes de los equipos pesados. Las pruebas indicadas con R son pruebas de rutina o sea que siempre se deben realizar, las que están rotuladas con una E es una prueba por excepción, las que se realizan en función a un resultado positivo de las pruebas que a continuación de esta letra se encuentran entre paréntesis "( )".

**Tabla N° 41: Pruebas de Rutina y pruebas por Excepción**  
 Ref. James C. Fitch, Manual de Análisis de Aceites de Noria.

Prueba	Rodamiento de bolas de motor o bomba	Motores de gas y Diesel	Hidráulicos	Compresor de gas y aire	Transmisiones, mandos, Diferenciales	Aceites de Engranajes
1. Conteo de partículas	R	R	R	R	R	R
2. Viscosidad						
a) 40° C	R	-	R	R	R	R
b) 100° C	-	R	-	-	-	-
3. TAN	E (5a)	-	R	R	R	R
4. TBN	-	R	-	-	-	-
5. FTIR						
a) oxidación/ nitración/ sulfatación	R	R	R	R	R	R
b) ZDDP	R	-	R	R	R	R
c) Dilución/combustible/ Hollín	-	R	-	-	-	-
6. Punto de inflamación	-	R	-	R*	-	-
7. Glicol prueba ASTM	-	E	-	-	-	-
8. Densidad ferrosa	E (1)	R	R	R	R	R
9. Ferrografía Analítica	E (8)	E (8)	E (8)	E (8)	E (8)	E (8)
10. Crujido	R	R	R	R**	R	R
11. Agua por KF	E (11)	E (11)	E (11)	E (11)**	E (11)	E (11)
12. Separabilidad de agua	-	-	-	R**	-	-
13. Análisis de elementos						
a. Metales de desgaste	R, E(1)	R	R, E (1)	R, E (1)	R	R, E (1)
b. K, Na, B, Si	R	R	R	R	R	R
c. Aditivos	R	R	R	R	R	R

\*Compresores de gas únicamente \*\* compresores de aire únicamente **R = Prueba de rutina**  
**E = Prueba por excepción**, ligadas a un resultado positivo de las pruebas en paréntesis "( )".

## Etapa de Administración del Programa de Análisis de Aceite.

### 5.7 Revisión e Interpretación de Datos

#### 5.7.1 Indicadores del Programa de Análisis de Aceites

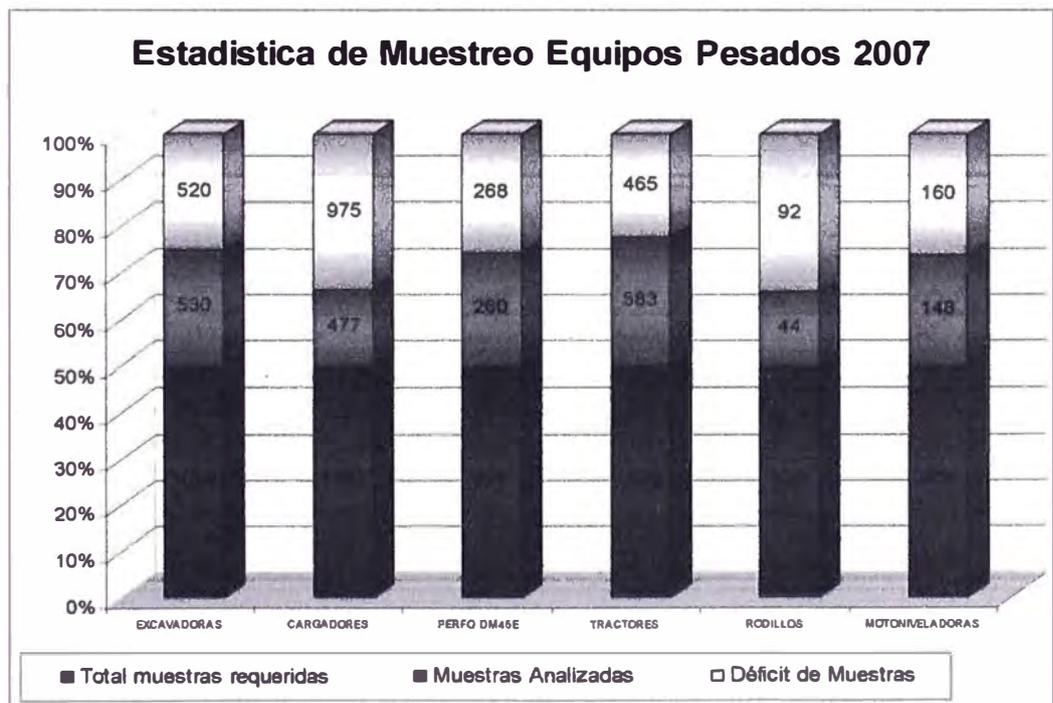
##### Eficiencia de Ejecución de la Programación de Muestreo.

- Número de Muestras programadas.
- Número de Muestras tomadas y analizadas.
- Déficit de muestras.

**Tabla N° 42: Muestreo de equipos Pesados, Flota completa Año 2008**

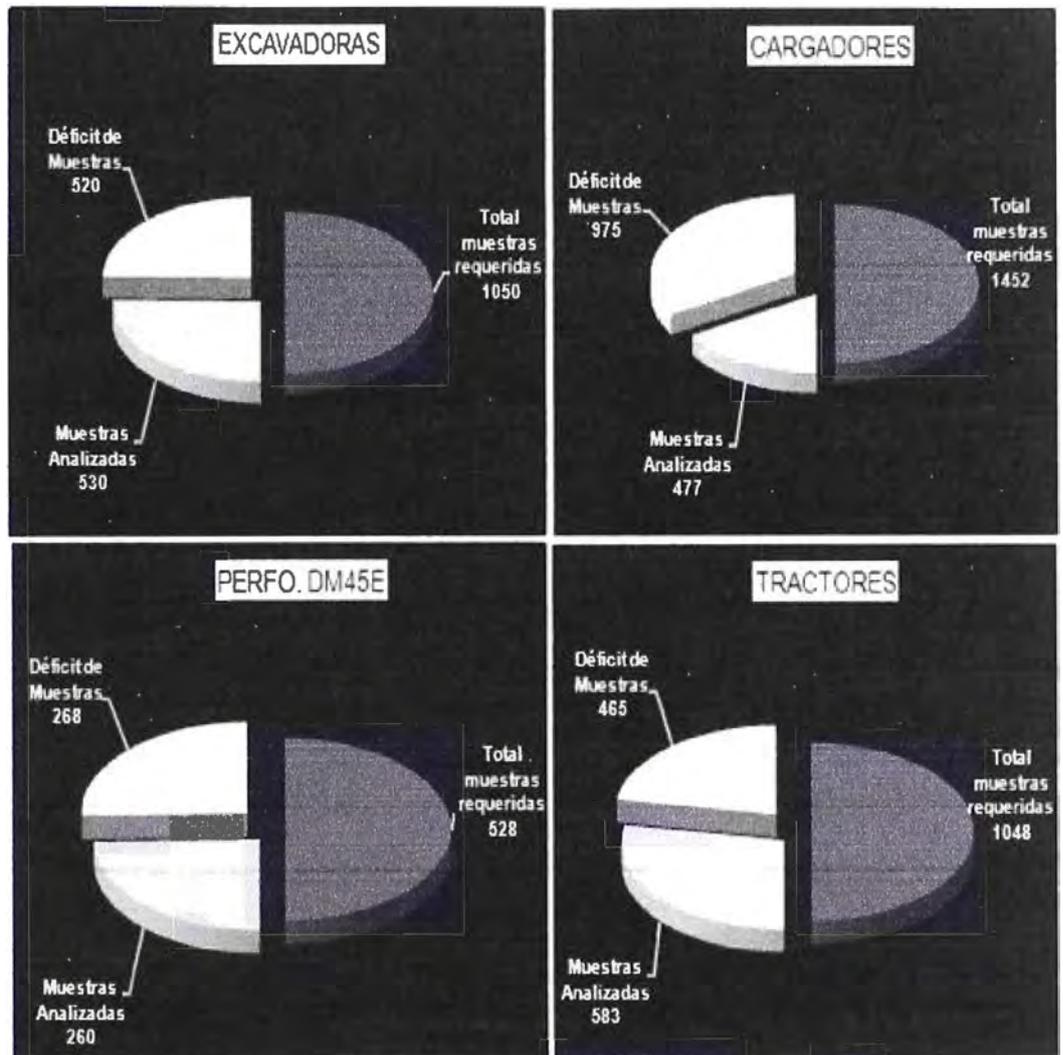
Ref. Campamento Minero Andean.

	EXCAVADORAS	CARGADORES	PERFO. DM45E	TRACTORES	RODILLOS	MOTONVELADORAS	TOTAL
Muestras requeridas	1050	1452	528	1048	136	308	4522
Muestras Analizadas	530	477	260	583	44	148	2042
Déficit de Muestras	520	975	268	465	92	160	2480
% Déficit de Muestras	49.5%	67.1%	50.8%	44.4%	67.6%	51.9%	



**Figura N° 62: Estadística de Muestreo Equipo Pesados.**

Ref. Campamento Minero Andean.



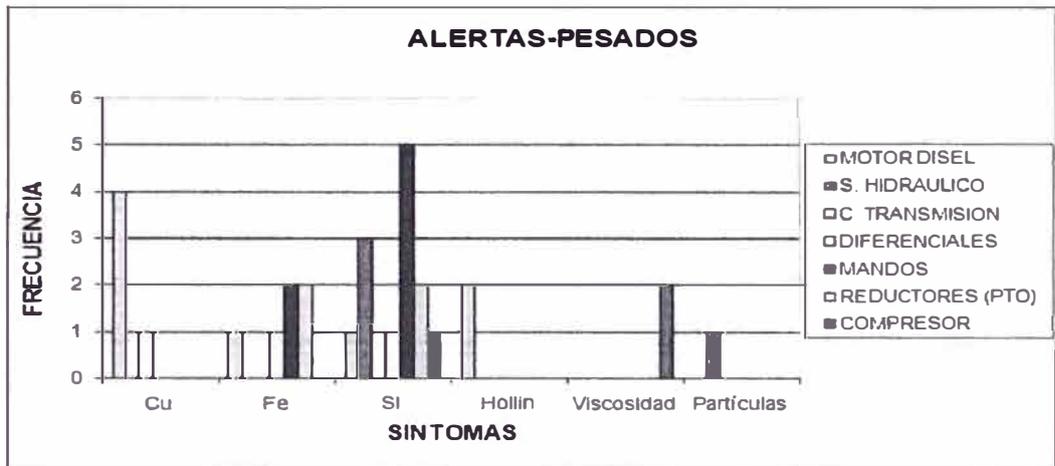
**Figura N° 63: Estadística de Muestreo por tipo de Equipo.**

Ref. Campamento Minero Andean.

**INDICADORES DE SINTOMAS DE FALLA**

**ALERTAS - PESADOS**

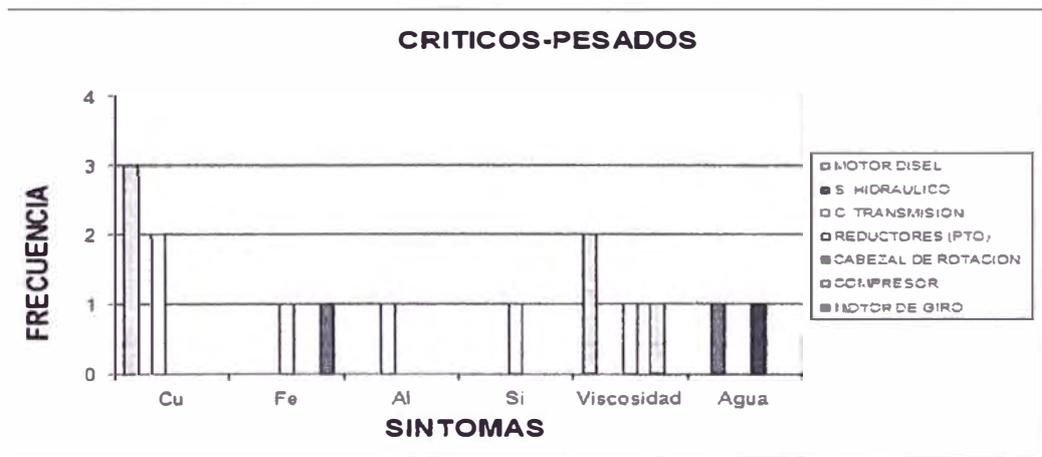
COMPONENTES	Cu	Fe	Si	Hollin	Viscosidad	Particulas
MOTOR DIESEL	4	1	1	1	2	
S. HIDRAULICO				3		1
C. TRANSMISION	1					
DIFERENCIALES		1	1			
MANDOS		2	5			
REDUCTORES (PTO)		2	2			
COMPRESOR			1			2



**INDICADORES DE SINTOMAS DE FALLA**

**CRITICOS - PESADOS**

COMPONENTES	Cu	Fe	Al	Si	Viscosidad	Agua
MOTOR DIESEL	3				2	
S. HIDRAULICO						1
C. TRANSMISION	2		1			
REDUCTORES (PTO)		1		1	1	
CABEZAL DE ROTACION						1
COMPRESOR					1	
MOTOR DE GIRO		1				

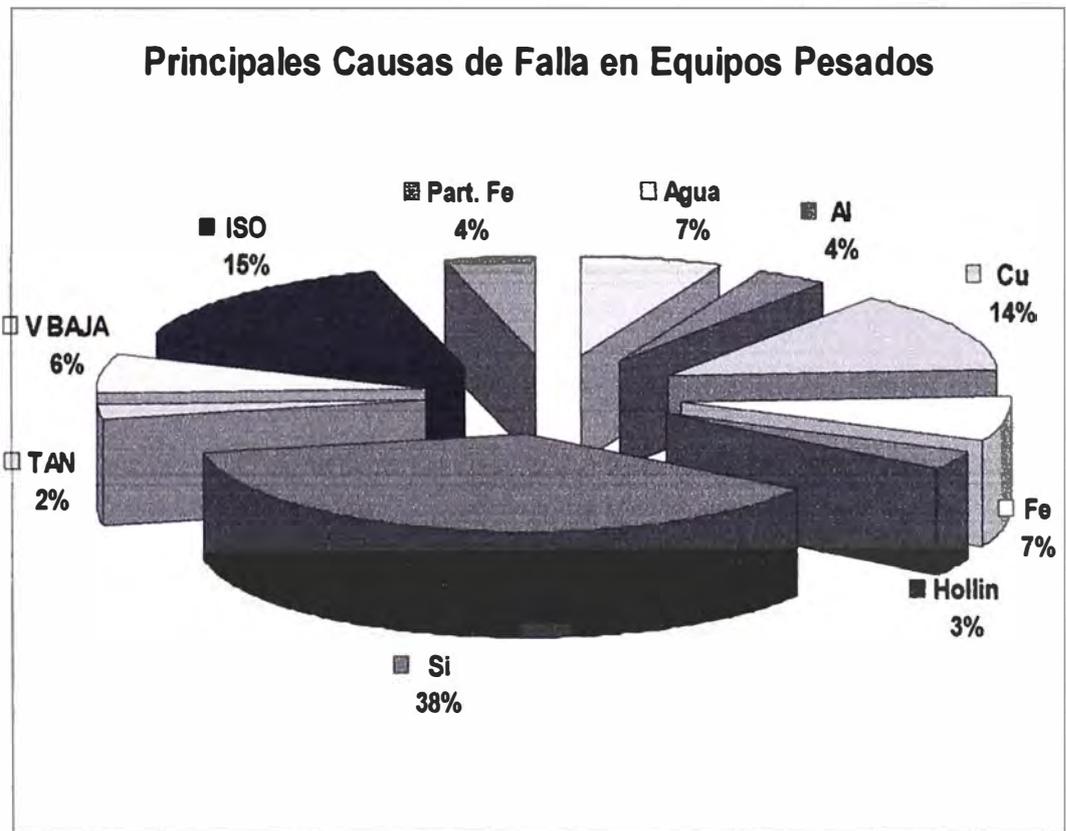


**Figura N° 64: Indicadores de Síntomas de Falla**

Ref. Campamento Minero Andean.

A continuación se presenta bajo una base mensual las frecuencias de las principales causas de Falla en los Equipos de movimiento de Tierras (Pesados)

Agua	Aluminio	Cobre	Hierro	Hollín	Silicio	TAN	Viscos. Baja	Nivel de Limpieza	Partículas Ferrosas
11	6	22	12	5	60	4	10	24	7



**Figura N° 65: Causas de falla en Equipos Pesados**

Ref. Campamento Minero Andean.

**Jupiter**

Archivo Codificación Consulta Almacen Logística Administración Ventana Ayuda Taller

RecArt Pila Cons OT Aprop. Reprog Ea Reparación Arg OT OTM Horómetro Oil Pila Pres.Eq. BIC Necesidad: Rec

Nuevo Grabar Elimiar DetCar PrLimiar Ir Inicio Pla Anterior Siguiete

**Registro de Muestra de Aceite**

Con. Sistema: 0000002090 Nro.Laboratorio: 0000001750 Fecha Recepción: 18/07/06 Fecha Reporte: 18/07/06 Estado Autom Manual

**Datos del Equipo** Clase: PERFORADORA Modelo: DN45E (1) **Datos del Lubricante** Origen de la Muestra: S HIDRAULICO

Marca: INGERSOLL RAND Equipo: DM45E 01 Lubricante: TELLUS 37

Fecha Muestreo: 18/07/06 Horom. (o Km.) Muestra: 1.395 00

Horometro (o Km.): 3.426.00 **Equipo** Relleno (GL) Cap (GL) 82.00

**Resultados Cualitativos** Agua Crudeo: NEGATIVO Dispersancia: REGULAR Apalencia: OK

Observaciones de la muestra

**Acciones a tomar:** Historico

**Resultados de Viscosidad:** 100 °C 6.12

**Observaciones Derivados de los Resultados:**

**Resultados Cuantitativos:**

Agua (% Vol)	0
TAN (mgr KOH/g)	0.43
Hierro (ppm)	5.00
Silicio (ppm)	2.00
Cobre (ppm)	1.00
Cromo (ppm)	1.00

**Figura N° 66: Plantilla de Reporte de Resultados de Análisis**

Ref. Software Jupiter. Campamento Minero Andean.

### 5.8 Usar resultados para tomar decisiones basadas en condición.

Según lo analizado las siguientes acciones son llevadas a cabo:

- 1) Según los análisis a los aceites sintéticos de las perforadoras estos indican un buen estado físico y químico del lubricante, bajos niveles de desgaste metálico, bajo nivel de silicio, bajo TAN lo que indica que su acidez y por consiguiente su oxidación son bajas, sólo tiene alto los niveles de contaminantes (expresado por sus códigos ISO de limpieza), lo que indica alto potencial de desgastes fuertes no cuantificados por la absorción atómica. Según esto se decidió incrementar el periodo de cambio de aceite de los compresores de las perforadoras, desde un cambio promedio de 1750 h hasta un máximo de 6000 h, esto será llevado en etapas con monitoreo de análisis de aceites y de conteo de partículas cada 1000 h. Este aceite como es sintético ha sido diseñado para durar entre 3 a 5 veces más que un aceite mineral.

- 2) Cambio de los filtros hidráulicos de las perforadoras (y de todos los equipos pesados) por filtros de alta eficiencia de 3  $\mu\text{m}$  con una tasa beta de 200. Esto como es evidente incrementará el costo de filtrado, pero permitirá mejores niveles de limpieza del aceite en los equipos.
- 3) Se microfiltrará los aceites hidráulicos nuevos de todos los equipos con filtración a 3  $\mu\text{m}$  a una tasa beta de 500. Para el caso de las perforadoras en los mantenimientos generales de 2000 h se filtrarán sus aceites hidráulicos nuevos desde un nivel ISO 19/17/15 hasta un ISO 16/14/11, con este nivel de limpieza inicial los equipos trabajaran, esperándose un incremento máximo por operación en las siguientes 2000 h hasta un ISO 18/16/13.

### **5.9 Evaluación de la Eficacia del Programa de Análisis.**

La aplicación del Control de la Contaminación se muestra en el área de perforación, el cual tiene una naturaleza estratégica para el negocio de la empresa.

Como la empresa había implementado un Programa de Análisis de Aceites, pero que sólo tenía una naturaleza predictiva y no se estaban aplicando estrategias de tipo proactivo, se consideró necesario sentar las bases para la implementación del Control de la Contaminación, y esto requería la compra de nuevos equipos de monitoreo como un contador de partículas y de equipo de micro filtración - dializador de aceites. Es por eso que para lograr que la gerencia apruebe un gasto adicional al ya realizado en la implementación del laboratorio, se procedió a analizar las horas de demora mecánica de las perforadoras y cómo estas inciden en la reducción de las utilidades de la empresa

Para explicar esta situación se inicia calculando los costos de operación de la perforación, en particular de la perforadora DM45E-01.

**Tabla N° 43: Costos de Operación de la Perforadora DM45E-01**

Ref. Campamento Minero Andean.

DEPRECIACION (EN CUATRO AÑOS)		Costo de Adquisición (US \$)	Depreciación anual (%)	Depreciación anual (US\$)	Depreciación Mensual (US\$)
Fecha Adquisición	Equipo				
01/02/2006	Perforadora	752 850	15%	112 927	9 411

Descripción Cta	Descripción Item	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario	Total Anual	%
DEPRECIACION					112 927,5	18,15
SALARIOS	Obreros		6	650,00	54 600	8,78
SUELDOS	Supervisión		2	1 700,00	47 600	7,65
MATERIALES DIRECTOS	Materiales Varios	unidad			250 663	40,30
COMBUSTIBLE	Diesel 2	galones	36 000	3.50	126 000	20,26
CAPACITACION			10	300,00	3 000	0,48
UTILES DE OFICINA	Varios				3 428,6	0,55
HERRAMIENTAS	Varios				3 428,6	0,55
LUBRICANTES	Varios				14 722,1	2,37
REPUESTOS	Varios				2 571,4	0,41
GASTOS GENERALES	Varios				3 085,7	0,50
<b>Costo Total Anual por Perforación</b>					<b>622 026,8</b>	<b>US\$</b>

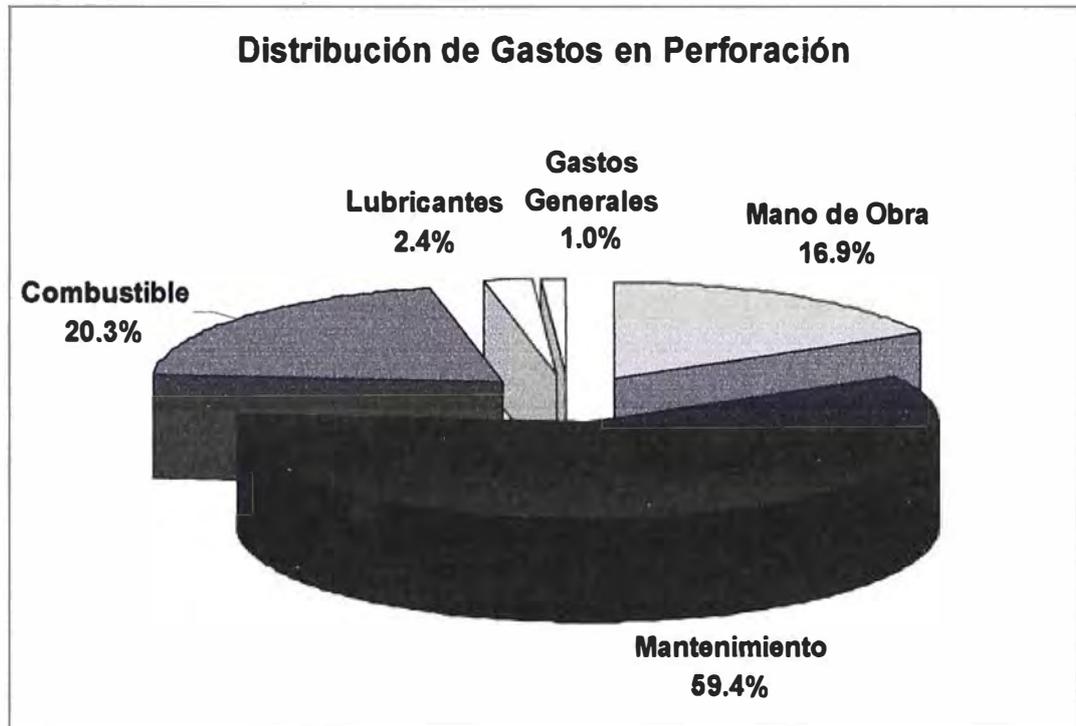
**Tabla N° 44: Resumen de Costos Perforadora DM45E-01**

Ref. Campamento Minero Andean.

Concepto	Total Anual US\$	Distribución
<b>Mano de Obra</b>	<b>105 200,0</b>	<b>16,9%</b>
<b>Mantenimiento</b>	<b>369 590,4</b>	<b>59,4%</b>
<b>Combustible</b>	<b>126 000,0</b>	<b>20,3%</b>
<b>Lubricantes</b>	<b>14 722,1</b>	<b>2,4%</b>
<b>Gastos Generales</b>	<b>6 514,3</b>	<b>1,0%</b>

**Costo Total Anual por perforación**

**622 026,8 US\$**



**Figura N° 67: Distribución de gastos en perforación**

Ref. Campamento Minero Andean.

Horas Anuales Facturadas DM45E-01 (Promedio)	<u>3 346,42</u> h
Precio Cobrado por Hora de Operación	<u>385,00</u> US\$/h
Ingreso Anual por Perforadora.	<u>1 288</u> <u>371,7</u> US\$
Utilidad Anual por Perforadora	<u>666 344,9</u> US\$
Ingreso Mensual por Perforadora.	<u>107 364,3</u> US\$

El mismo análisis puede utilizarse para las demás perforadoras.

En el siguiente cuadro se muestra las horas de operación efectiva y que son facturadas obteniéndose el ingreso anual por cada perforadora.

**Tabla N° 45: Ingreso Mensual por Perforadoras DM45E**

Ref. Campamento Minero Andean.

	Horas Facturadas (6 meses)	Horas Facturadas (Anual)	Facturación x Perfor.	Ingreso Anual Por Perforadora	Ingreso Mensual Por Perforadora
	HF	HF	%	US\$	US\$
DM45E-1	1 673,21	3 346,42	29,4%	1 288 371,7	107 364,3
DM45E-2	1 813,22	3 626,44	31,8%	1 396 179,4	116 348,3
DM45E-3	1 396,51	2 793,02	24,5%	1 075 312,7	89 609,4
DM45E-4	813,33	1 626,66	14,3%	626 264,1	52 188,7
<b>TOTAL</b>	<b>5 696,27</b>	<b>11 392,54</b>	<b>100%</b>	<b>4 386 127,9</b>	<b>365 510,7</b>

Ingreso Mensual por Perforación 365 510,7 US\$

Ingreso Total Mensual de la Operación Minera 1 200 000 US\$

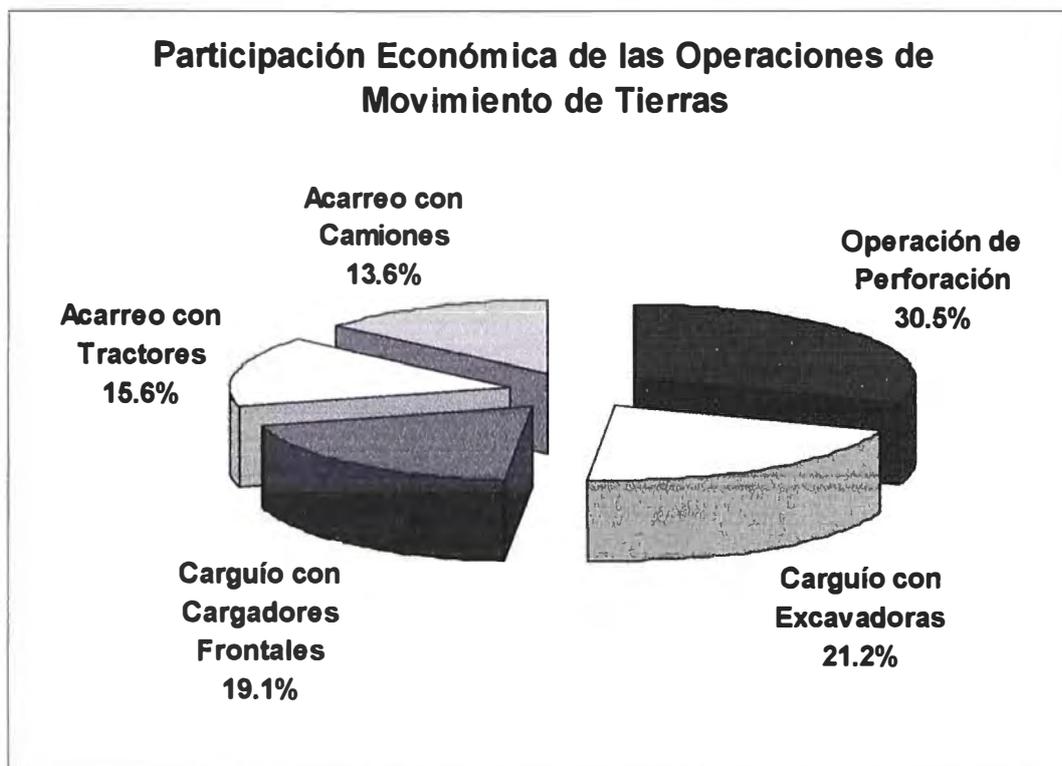
Participación de la Perforación en la Operación Minera 30,5%

Análogamente se muestra la contribución de ingresos de las otras operaciones:

**Tabla N° 46: Participación Total de las Operaciones Mineras**

Ref. Campamento Minero Andean.

<b>Operación de Perforación</b>	<b>30,5%</b>
<b>Carguío con Excavadoras</b>	<b>21,2%</b>
<b>Carguío con Cargadores Frontales</b>	<b>19,1%</b>
<b>Acarreo con Tractores</b>	<b>15,6%</b>
<b>Acarreo con Camiones</b>	<b>13,6%</b>
	<b>100 %</b>



**Figura N° 68: Distribución de Ingresos en la Operación Minera**

Ref. Campamento Minero Andean.

En el siguiente cuadro se muestra las horas facturadas, de demora total y su relación con las horas programadas por cada perforadora en un semestre.

**Tabla N° 47: Horas de Demora Total por Perforadora.**

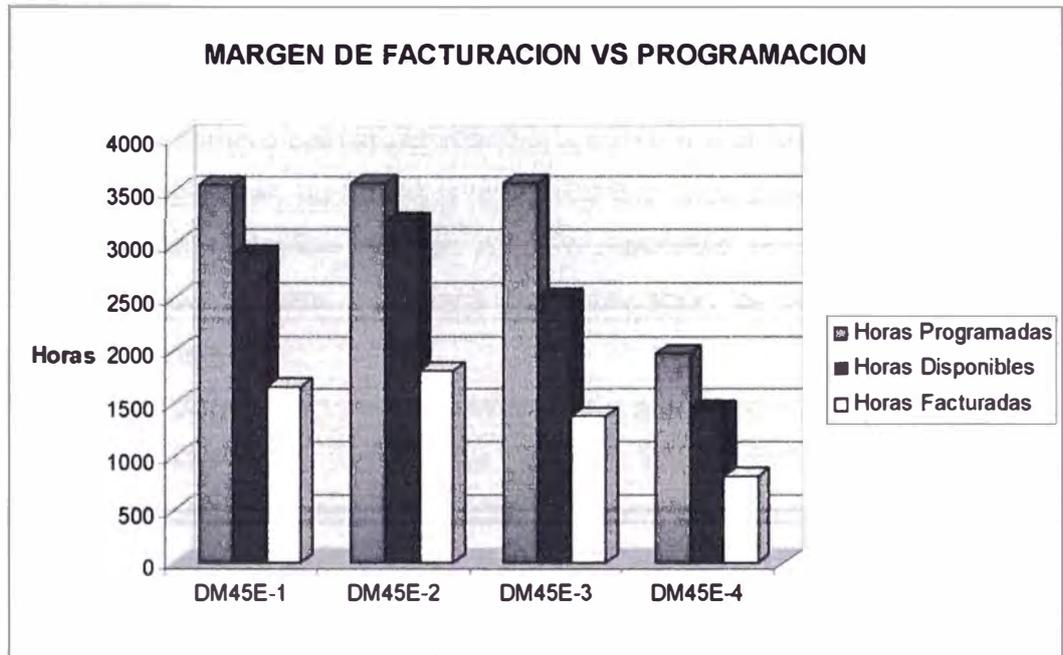
Ref. Campamento Minero Andean.

Perforadora	Horas Programa	Horas Disponibles	Horas Facturadas	HORAS DE DEMORA			
				Mecánica	Operativa	No Operat.	Total
	HP	HD	HF	HDM	HDOP	HDNOP	HTD
DM45E-1	3 567	2 921,92	1 673,21	645,08	300,4	948,3	1 893,8
DM45E-2	3 588	3 222,85	1 813,22	365,15	368,5	1041,2	1 774,8
DM45E-3	3 589	2 510,35	1 396,51	078,65	259,1	854,8	2 192,5
DM45E-4	1 980	1 454,78	813,33	525,22	150,3	423,1	1 098,6
<b>TOTAL</b>	<b>12 724</b>	<b>10 109,9</b>	<b>5 696,27</b>	<b>2 614,1</b>	<b>1 078,2</b>	<b>3 267,38</b>	<b>6 959,68</b>

Los ingresos generados son por el alquiler del servicio de perforación, entonces a mayores horas facturadas mayor ingreso.

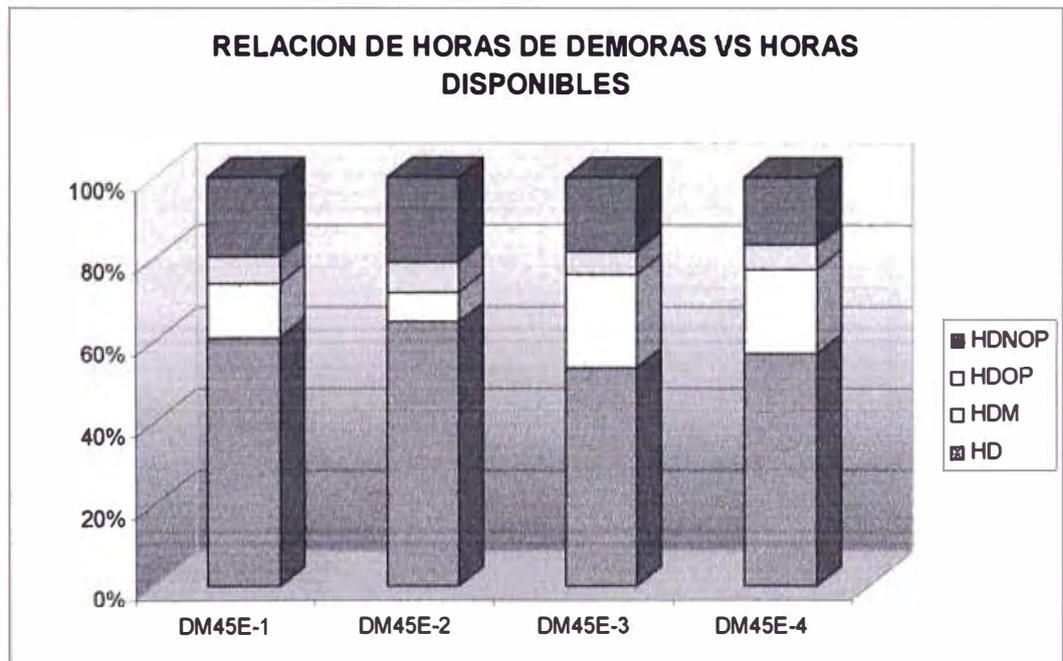
Las horas facturadas son igual a las horas programadas menos las horas totales de demora.  $HF = HP - HTD$ .

Como puede observarse existe diferencias muy altas entre las horas que el equipo está disponible y las horas que se facturan y aún más altas entre las horas programadas y las facturadas.



**Figura N° 69: Margen de Facturación vs Programación.**

Ref. Campamento Minero Andean.



**Figura N° 70: Relación del Tiempo de Demora vs Tiempo Disponible**

Ref. Campamento Minero Andean.

### **Análisis del Tiempo de Demoras Mecánicas**

Si se desea maximizar el ingreso se debe maximizar las horas facturadas por alquiler de maquinarias, esto se logra minimizando las horas totales de demora, cómo esto está compuesto por las horas de demora mecánica más las demoras operativas más las no operativas

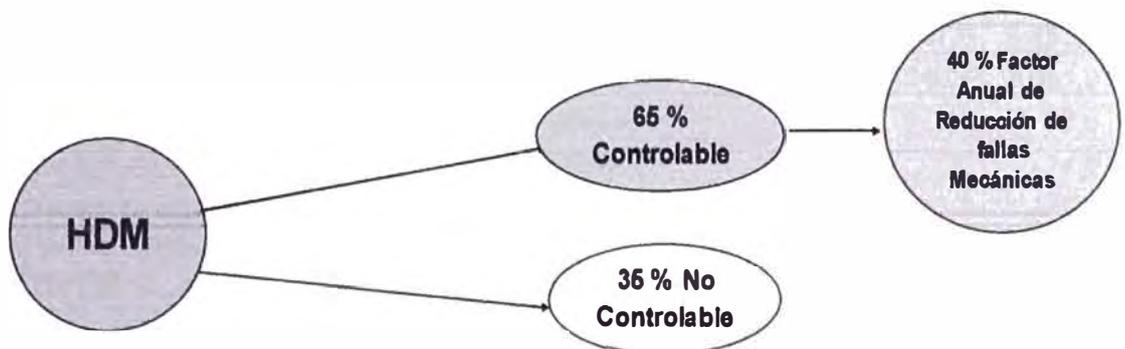
Las horas de demora operativas prácticamente son normales, pero también son posibles de minimizar, pero esto no es el objetivo de la presente tesis. Las horas de demora no operativa derivan de circunstancias poco controlables y de naturaleza muy variable. Entonces a continuación se analiza las horas de demora mecánica.

Las horas de demora Mecánica generalmente son asociadas en gran medida a las fallas mecánicas imprevistas. Estas fallas están compuestas por reparaciones de emergencia, revisiones de rutina, mantenimientos preventivos, y demoras por espera de repuestos. Por lo general del 70 al 80% de estas fallas son asociadas por el desgaste de las superficies y este desgaste es asociado a la contaminación por partículas sólidas. Esto quiere decir que si se controla la contaminación se puede controlar el desgaste y si se controla el desgaste entonces se pueden reducir las fallas mecánicas.

<b>SISTEMAS HIDRAULICOS</b>	<b>Nivel de Limpieza Actual</b>	<b>Nivel de Limpieza Después de 2000 h</b>	<b>Factor Relativo de Vida Útil</b>
<b>EXCAVADORAS CATERPILLAR</b>			
365CL-01	19 /17/ 15	18 /16 /13	1,36
365CL-02	19 /17/ 14	18 /16 /13	1,36
365CL-03	20 /18 /15	18 /16 /13	1,81
<b>EXCAVADORAS KOMATSU</b>			
PC600-04	20 /18 /17	18 /16 /13	1,81
PC600-05	20 /18 /17	18 /16 /13	1,81
PC600-07	20 /18 /14	18 /16 /13	1,81
<b>PERFORADORAS DM45E</b>			
DM45E-01	20 /18/ 15	18 /16 /13	1,81
DM45E-02	19 /17/ 15	18 /16 /13	1,36
DM45E-03	19 /17/ 15	18 /16 /13	1,36
DM45E-04	19 /17/ 14	18 /16 /13	1,36
<b>Factor de Ampliación de Vida Útil</b>			<b>1,6</b>

De la tabla anterior (la misma **Tabla 34**) se puede apreciar que uno de los objetivos de limpieza que se pueden lograr es ampliar el factor de vida útil de los componentes en un factor de 1,6, esto significa incrementar en un 60% la vida útil de los equipos, o dicho de otro modo reducir en un 60% las fallas en los sistemas siempre y cuando se mantengan buenas prácticas de lubricación y un permanente monitoreo de la condición vía el análisis de aceites.

Si se considera que de las HDM sólo el 65% es controlable y que de estas sólo el 40% se puedan controlar en el primer año:



**Figura N° 71: Estimación del Factor Anual de reducción de fallas**

Ref. Diseño Propio

Esto quiere decir que en el primer año se fija un objetivo conservador de sólo  $0,65 \times 0,40 = 0,26 = 26\%$

#### **Fracción de Horas de Demora Mecánicas Salvadas al año 26%**

Los siguientes años se fijan objetivos incrementales hasta llegar a un factor de 0,6 (60%), (0.38 el segundo año, 0.50 el tercer año y 0.6 el cuarto año) que son usados en el cálculo de beneficios que puede lograr el Programa de Análisis. Estos factores se utilizan teniendo como referencia al año de implementación.

En la siguiente tabla se muestra a través de un cálculo en diferentes periodos de tiempo cómo una ampliación de vida (o reducción de fallas) de 26% permite reducir las horas de demora mecánicas, cómo esto incrementa el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), y cómo incrementa la disponibilidad mecánica de los equipos.

INDICADOR	SIMBOLO	FORMULA	Periodo 1	Periodo 2
Horas Totales Calendarias	TT =	365*24	8 760	8 760
Horas de Paradas Programadas	Dsch =	Navidad, Año Nuevo	1 626	1 626
Horas Programadas	HP =	TT - Dsch	7 134	7 134
Demoras Mecánicas	HDM =	Dato	1 290,2	954,7
Demoras Operativas	HDOP =	Dato	600,7	600,7
Demoras No Operativas	HDNOP =	Dato	1 896,7	1 896,7
Horas Totales de Demora	HTD =	HDM+ HDOP +HDNOP	3 787,6	3 452,1
Tiempo Operativo Efectivo	Ho =	TT- Dsch - HTD	3 346,4	3 681,9
Número de Paradas	Np =	Dato	44	32,6
Número de Fallas	Nf =	Dato	20	14,8
Tiempo Medio Entre Fallas	MTBF =	Ho/Nf	167,3	248,8
Tiempo Medio Para Reparar	MTTR =	HDM/Np	29,3	29,3
Disponibilidad Mecánica	Dmc =	MTBF/(MTBF+MTTR)	85,1%	89,5%

**5.9.1 Análisis Económico del Programa.** Base del programa se considerará la inversión en un sistema de filtración de alta eficiencia.

#### **5.9.1.1- Inversión de Capital.**

El Análisis de Inversión Considerará a las 4 perforadoras ya que con estos equipos se inició el control de la contaminación.

#### **INVERSION EN EQUIPOS**

**COSTO DE CONTADOR DE PARTICULAS (FOB) 38 500 US\$**

**COSTO DE CONTADOR DE PARTICULAS (CIF) 42 350 US\$**

**COSTO DE EQUIPO DE MICROFILTRADO (FOB) 17 600 US\$**

**COSTO DE EQUIPO DE MICROFILTRADO (CIF) 19 360 US\$**

<b>TOTAL INVERSION INICIAL EN EQUIPOS</b>	<b>61 710</b>	<b>US\$</b>
---	---------------	-------------

**5.9.1.2- Distribución de Costos.****COSTOS DE OPERACIÓN DEL MICROFILTRADO**

	Consumo Mensual	Consumo Anual	Costo Filtro US\$	Costo Anual
Filtros de Equipo	2	24	180	4 320

<b>COSTO ANUAL DE MICROFILTRACIÓN.</b>	<b>4 320</b>	<b>US\$/AÑO</b>
--	--------------	-----------------

**COSTO ANUAL POR ANÁLISIS DE ACEITES HIDRÁULICOS**

Horas Al Año	6000 hr
Frecuencia de Muestreo Hidráulicos	250 hr
Número de muestras al año por perforadora:	24 muestras
Costo de Análisis por Muestra:	7,996 US\$

<b>COSTO ANUAL POR ANÁLISIS DE ACEITES</b>	<b>191,9</b>	<b>US\$/AÑO</b>
--	--------------	-----------------

<b>COSTO ANUAL POR ANÁLISIS DE ACEITES</b>	<b>767,6</b>	<b>US\$/AÑO</b>
Incluye las 4 perforadoras		

**COSTOS POR MEJORA DEL DESEMPEÑO DE LA FILTRACION**

	Consumo Mensual	Consumo Anual	Costo Filtro Actual	Costo Filtro Alta Eficiencia	D	Incremento Anual
DM45E-1	1	12	115,79	185,26	69,47	833,7
DM45E-2	1	12	115,79	185,26	69,47	833,7
DM45E-3	1	12	115,79	185,26	69,47	833,7
DM45E-4	1	12	115,79	185,26	69,47	833,7

3334,8

<b>INCREMENTO DEL COSTO DE FILTRACIÓN</b>	<b>3334,8</b>	<b>US\$/AÑO</b>
---	---------------	-----------------

**COSTO DE MANO DE OBRA**

Incluye Aportes del empleador.

Sueldo Mensual Operador del  
Dializador1200,0 S/  
424,0 \$

<b>GASTO ADICIONAL DE MANO DE OBRA</b>	<b>7 895,4</b>	<b>US\$/AÑO</b>
--	----------------	-----------------

**Resumen de Costos por Periodo al Implementar Control de la Contaminación.**

<b>COSTO ANUAL DE MICROFILTRACIÓN.</b>	<b>4320.0</b>
<b>COSTO ANUAL POR ANÁLISIS DE ACEITES</b>	<b>767.6</b>
<b>INCREMENTO DEL COSTO DE FILTRACIÓN</b>	<b>3334.8</b>
<b>GASTO ADICIONAL DE MANO DE OBRA</b>	<b>7895.4</b>

**COSTOS POR PERIODO****16318 US\$/AÑO****5.9.2- Beneficios Esperados****Beneficio de Reducción de Fallas Mecánicas**

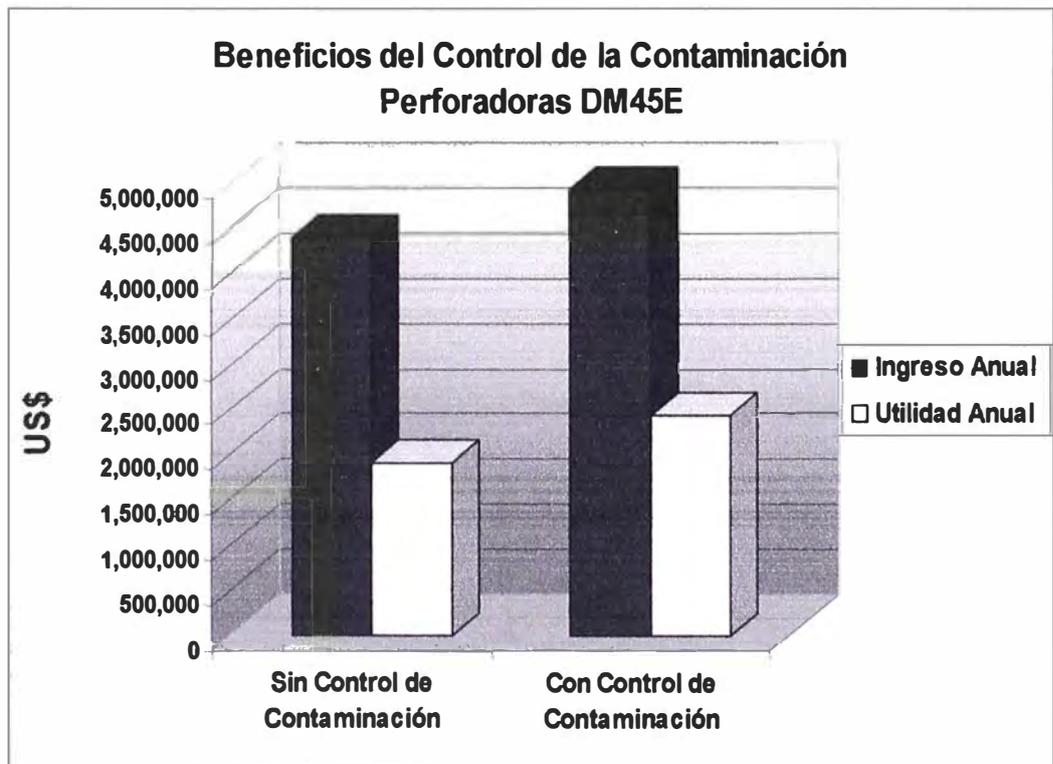
Perforadora	HDM	65% Controlables	40% Factor de Reducción de Fallas	Ingreso	Ingreso Total
				US\$/Hora	US\$
DM45E-1	1 290,2	838,60	335,4	385,0	129 145,0
DM45E-2	730,3	474,70	189,9	385,0	73 103,0
DM45E-3	2 157,3	1 402,25	560,9	385,0	215 945,7
DM45E-4	1 050,44	682,79	273,1	385,0	105 149,0

<b>Ingreso Adicional Anual US\$</b>	<b>523 343</b>
-------------------------------------	----------------

Ingreso Anual Actual sin Control de Contaminación **4 386 127,9** US\$Ingreso Adicional con Control de Contaminación **4 909 470,7** US\$

**CUADRO RESUMEN**

	Sin Control de Contaminación	Con Control de Contaminación
<b>Ingreso Anual</b>	<b>4 386 127,9</b>	<b>4 909 470,7</b>
<b>Utilidad Anual</b>	<b>1 898 020,6</b>	<b>2 421 363,4</b>



**Figura N° 72: Beneficios de Implementar Control de la Contaminación**

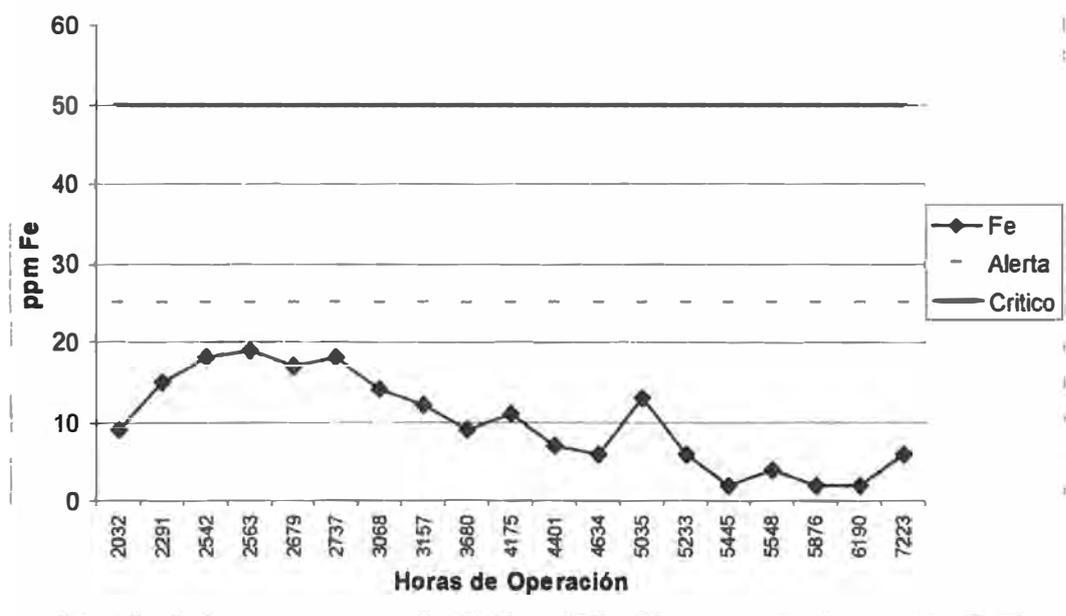
**Beneficio de Ampliación de Periodo de Cambio de Aceite Sintético.**

Como se puede apreciar en las figuras siguientes, el aceite sintético Corena PAO 68, que se usa en los compresores de las perforadoras mantiene una gran estabilidad, sus datos históricos de tendencia en el caso de hierro nunca han presentado desgaste que indiquen una señal de alerta, en el

caso del silicio, solamente un punto alcanzó un estado de alerta y este fue corregido oportunamente, el TAN del lubricante indica que la propiedad antioxidante se mantiene con un excelente nivel, con un promedio de 0.27 mg KOH/g siendo su límite de alerta un valor de 1 mg KOH/g

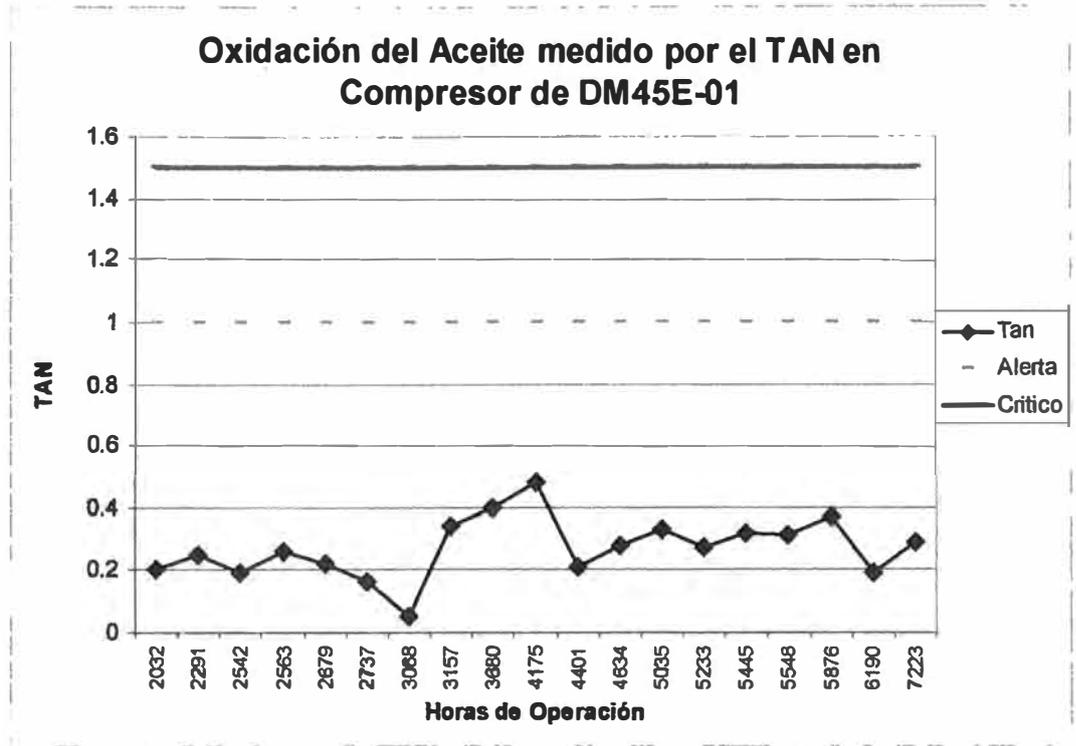
Por lo tanto, esto nos indica que se puede ampliar el periodo de cambio del lubricante, para ello se ha calculado el periodo promedio de cambio (1750 h), y se ha comparado el ahorro que se obtendría al cambiarlo a las 2000 h, 4000 h y 6000 h ya que en general los aceites sintéticos pueden durar incluso entre 3 y 4 veces más que un aceite análogo de naturaleza mineral.

### Desgaste de Hierro en Compresor de DM45E-01

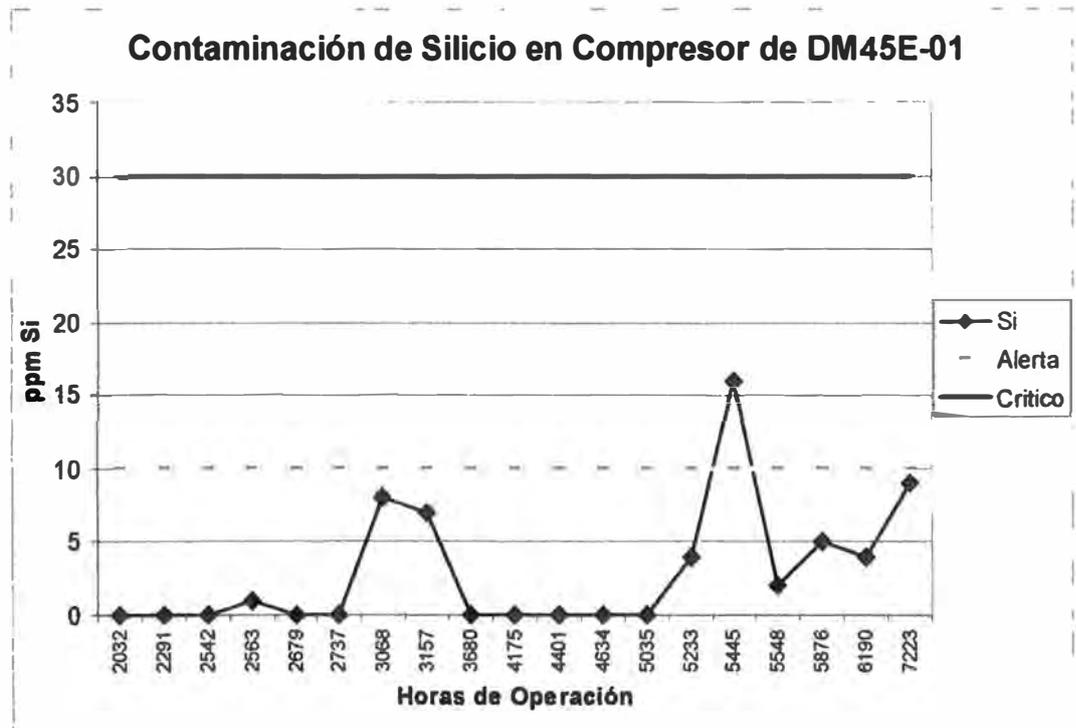


**Figura N° 73: Tendencia de Desgaste de Hierro: compresor DM45 E-01**

Ref. Software Júpiter. Campamento Minero Andean.



**Figura N° 74: Tendencia de oxidación (TAN) en compresor DM45 E-01**  
 Ref. Software Júpiter. Campamento Minero Andean.



**Figura N° 75: Contaminación con silicio, compresor DM45E-01**  
 Ref. Software Júpiter. Campamento Minero Andean.

**EXTENSION DEL PERIODO DE USO DEL ACEITE SINTETICO:  
Corena PAO ISO 68**

**Aplicación: Compresores de Perforadoras DM 45E**

**Costo 1 Cilindro 55 gal 1806.1 US\$**

**Periodo Promedio de Cambio de Aceite 1750 h**

Perforadora	Volumen del Tanque	Consumos Anualizados				
		Consumo Estimado Anual (*)	Cambio cada 2000 h	Cambio cada 3000 h	Cambio cada 4000 h	Cambio cada 6000 h
		Gal	Gal	Gal	Gal	Gal
DM45E-1	38	130.3	114	76	57	38
DM45E-2	38	130.3	114	76	57	38
DM45E-3	38	130.3	114	76	57	38
DM45E-4	38	130.3	114	76	57	38
<b>Total</b>	<b>152</b>	<b>521</b>	<b>456</b>	<b>304</b>	<b>228</b>	<b>152</b>

<b>Exceso Gal. Anual</b>	<b>65</b>	<b>217</b>	<b>293</b>	<b>369</b>
<b>Cilindros en exceso</b>	<b>1,2</b>	<b>3,9</b>	<b>5,3</b>	<b>6,7</b>
<b>Ahorro Anual US\$</b>	<b>2 139</b>	<b>7 131</b>	<b>9 627</b>	<b>12 122</b>

(\*) Calculado en función al periodo promedio de cambio.

**RESUMEN DE ANÁLISIS DE INVERSION**

**Beneficios Esperados:**

**Por Reducción de Fallas Mecánicas: 523 343 US\$**

**Por Ampliación de Periodo de Cambio de Aceite Sintético: 12 122 US\$**

**Beneficio Neto de Aplicar estas Mejoras en el Primer Año: 535 465 US\$**

El Tiempo de Vida del Proyecto se estima en 4 años debido al nivel de reservas de la operación minera y de acuerdo también al tiempo de vida de los equipos mineros que son depreciados también en 4 años.

**HORIZONTE DE PLANEAMIENTO: 4 AÑOS**

	AÑO				
	0	1	2	3	4
Factor de Reducción de Fallas		0,26	0,38	0,50	0,60
Beneficio Anual Esperado		535465	599721	599721	589012
Inversión Inicial	<b>61710</b>				
Costos por periodo		16318	16318	16318	16318
Flujo de Caja	-61710	519147.3	583403.1	583403.1	572693.8
Tasa de descuento 10% fd (Anual)	1	0.91	0.83	0.75	0.68
Flujo de Caja corregido	-61710	471952	482151	438319	391158

**Resumen del análisis de Inversión**

<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$1 721 870</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>852%</b>
<b>Periodo de Recuperación</b>	<b>2,4 meses</b>
<b>Retorno sobre la Inversión</b>	<b>31,8</b>

El cálculo Matemático del periodo de amortización da 2.4 meses, pero físicamente esto no es posible, recién en este tipo de proyectos la recuperación se da entre los 4 y seis meses de aplicación lo que aún es un muy buen periodo de recuperación.

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **CONCLUSIONES**

1) A pesar que la empresa donde se han desarrollado los casos prácticos tiene un programa de aceites lubricantes, lamentablemente no lo han usando de la mejor manera ya que en muchos casos sólo se tomaba acciones correctivas de emergencia como cambiar el aceite, pero no se detenían a analizar las causas que originaban un desgaste evidente, al tomar medidas correctivas sólo postergaban lo inevitable, es decir indefectiblemente la maquinaria fallaría ya que las causas que generaban los síntomas de falla no se habían corregido oportunamente.

2) Como podrá observarse en el Resumen de Análisis de Inversión el hecho de contar con un Programa de Gestión en Lubricación y adicionarle al laboratorio de Análisis de Aceites una naturaleza proactiva a través de la implementación y aplicación del Control de la Contaminación permitirá alcanzar beneficios económicos sorprendentes e importantes que con el tiempo se proyectarán a los demás tipos de maquinarias hasta cubrirlas por completo, esto incrementará aún más los beneficios como ahorros en repuestos, menores stocks en almacén, incremento de la vida útil de las maquinarias, reducción de los gastos por mantenimiento, incremento de la vida útil de los aceites haciéndose su cambio por condición y ya no por tiempo.

3) La inversión que puedan realizar algunas empresas en la implementación de una de las más sofisticadas técnicas de mantenimiento predictivo y proactivo como es el Análisis de Aceites Lubricantes, representa una oportunidad que debe ser analizada cuidadosamente ya que antes de este emprendimiento las empresas deben saber exactamente cuál es su desempeño en lubricación, cómo ejecutan y miden su gestión en lubricación, esto quiere decir que deben evaluar a través de un previo diagnostico del análisis situacional FODA de su gestión, aquí es donde pueden hallar sus debilidades y fortalezas y permitirá saber que estrategias se tomarán, cuáles son los objetivos cuantificables de confiabilidad

operativa de sus maquinarias y cómo hacer para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de sus maquinarias.

Los beneficios esperados superarán con creces la inversión realizada.

4) Con la participación y compromiso de la Gerencia General, jefaturas de área no sólo de Mantenimiento, con los supervisores, mecánicos, operadores y demás personas comprometidas, las organizaciones pueden llevar adelante el proceso de cambio sistematizado sugerido, a efectos de alcanzar en un futuro, mejores estándares de desempeño en la gestión en lubricación, que permitan avanzar de manera gradual y progresiva dentro de un Clasificación Mundial de desempeño.

5) La implementación de un Programa de Análisis de aceites supone un paso hacia un mantenimiento de clase mundial y toda empresa que decida implementar uno debe basarse no sólo en buscar análisis de causa raíz de fallas para minimizar las fallas relacionadas a la lubricación sino que debe de ser un nexo en la implementación de estrategias mayores de mantenimiento dígase Mantenimiento Basado en Condición, RCM, Mantenimiento Productivo Total, etc., por lo tanto debe ser una de las estrategias empresariales de las empresas industriales y mineras, lo cual resulta en que la implementación del Programa Análisis de Aceites es mucho más efectiva, más rápida y es asimilada por el personal con relativa mayor facilidad.

6) Como el Análisis de Aceites Lubricantes es un proceso de Mejora Continua entonces debe ser constantemente retroalimentado con el fin de incorporar al programa nuevos elementos, -llámese equipos y/o componentes – para que sean considerados parte de todo el proceso. Esto se logra cuando ya se han identificado y llegado a controlar los procesos de degradación y desgaste que ocurren en los lubricantes habiéndose obtenido ya logros importantes. La inclusión de nuevos equipos al programa mejorará el desempeño mismo.

7) Otro tipo de beneficio esperado no cuantificado es que la implementación de un Programa de Análisis de Aceites Lubricantes permite obtener un mejor valor de reventa de los equipos una vez que su aplicación haya concluido, ya que

permitirá venderlos con sus datos históricos de análisis de aceites y monitoreo del desgaste, lo que se convierte en una ventaja adicional.

8) El monitoreo de condición usando como herramienta la tecnología del Análisis de Aceites Lubricantes debe ser aplicada de una manera profesional, equiparable a otras tecnologías, incorporando una estrategia, diseño, tecnología, educación y certificación. Los resultados están a la vista en una gran cantidad de empresas a nivel internacional que reciben los beneficios de un programa bien diseñado, bien implementado y bien administrado.

Mirando hacia el futuro la forma de ver la lubricación y el análisis de aceites sufrirá un gran cambio, se volverá cada vez más especializada, cada vez más profesional, se necesitará gente preparada para afrontar estas tareas de formación.

La tesis presentada es parte de este proceso de formación de especialistas en monitoreo de condición usando como herramienta el Análisis de Aceites Lubricantes.

## RECOMENDACIONES

1) Analizando los resultados de la inspección en lubricación, como se puede ver en siguiente gráfico de araña, la evaluación de la lubricación, muestra que el elemento con mejor calificación es el Programa de Análisis de Aceites Lubricantes (61%) y los elementos con los más bajos son: Los Estándares de Lubricación (25%) y el Control de la Contaminación (26%).

Esto quiere decir que existe un peligroso desfase entre las áreas clave para alcanzar una efectiva gestión en lubricación, por lo cual se recomienda reducir esta brecha y cubrir los vacíos faltantes para lograr un mejor desempeño no solo en lubricación sino también en mantenimiento en general con lo cual se pueden reducir las incidencias de falla de las maquinarias y a conservar mejor los activos de la compañía.

2) Es recomendable que el programa de análisis de aceites pueda ser integrado con otras tecnologías de monitoreo de condición, este puede ser el caso de la termografía, del análisis de vibraciones, ultrasonido, etc. Esto permitirá mantener un mayor control acerca del monitoreo de la condición de la maquinaria, aunque las señales de fallas que monitorea el análisis de aceites, dependiendo del tipo de falla a monitorear, es más rápido que las otras tecnologías, la unión de todas estas junto con el conocimiento de la operación de los equipos permitirán establecer acciones específicas de mantenimiento y el logro de una lubricación óptima.

## **CAPITULO VII: GLOSARIO DE TÉRMINOS.**

**Abrasión:** Desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de material extraño como tierra, o partículas metálicas en el lubricante. Esto puede también causar la rotura o resquebrajamiento del material (como en las superficies de los dientes de los engranes). Falta de una adecuada lubricación puede dar como resultado la abrasión.

**Aceite Básico:** La base fluida, usualmente un producto refinado del petróleo o material sintético, en el que los aditivos son mezclados para producir lubricantes terminados.

**Aceite Mineral:** Aceite derivado del petróleo o de una fuente mineral, a diferencia de algunos aceites que tienen origen en plantas y animales.

**Aceite multigrado:** Un aceite que cumple los requerimientos de más de un grado de la clasificación de viscosidad SAE y puede ser capaz de ser usado en un amplio rango de temperatura que un aceite monogrado.

**Acidez:** En lubricantes, la acidez denota la presencia de constituyentes de tipo ácido cuya concentración es usualmente definida en términos de número ácido total. Los constituyentes varían de acuerdo a su naturaleza y pueden o no, influenciar marcadamente el desempeño del lubricante.

**Aditivo Antidesgaste:** Mejora la vida de elementos tribológicos que operan en régimen de lubricación escasa. Los compuestos antidesgaste (ZDDP y TCP), se descomponen entre los 90 y 100 °C y aún a menores temperaturas si hubiera agua presente (de 25 a 50 ppm)

**Aditivo de Extrema Presión (EP):** Aditivo lubricante que previene las superficies deslizantes metálicas de desgastarse bajo condiciones de extrema presión. A las altas temperaturas locales asociadas con contactos metal-metal, un aditivo EP se combina químicamente con el metal para formar una película de superficie que previene de la soldadura de las asperezas opuestas y del consecuente daño que destruye las superficies deslizantes bajo cargas altas. Compuestos reactivos de azufre, cloro o fósforo son utilizados para formar estos compuestos inorgánicos.

**Aditivos:** Un compuesto que mejora algunas de las propiedades, o imparte nuevas propiedades al aceite básico. En algunas formulaciones de aceites de motor, el volumen de los aditivos puede constituir hasta un 20% de la composición final. Los tipos de aditivos más importantes incluyen antioxidantes, antidesgaste, inhibidores de corrosión, mejoradores del índice de viscosidad y depresores de espumación.

**Agente Antiespumante:** Uno o dos aditivos utilizados para reducir la espumación en productos del petróleo: aceite de silicona para romper las

burbujas grandes y varias clases de polímeros para decrecer la cantidad de burbujas pequeñas en el aceite.

**AGMA:** American Gear Manufacturers Association. Especificaciones de viscosidad de aceites para engranajes industriales.

**Análisis Espectrométrico:** Determinación de la concentración de elementos representados en el fluido contaminado.

**Antioxidantes:** Prolongan el periodo de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidantes y metales catalizadores a elevadas temperaturas. El aditivo es consumido y los productos de degradación se incrementan no solo en condiciones de temperaturas elevadas y sostenidas, sino también con el incremento de condiciones de agitación mecánica o turbulencia y contaminación - aire, agua, partículas metálicas y polvo.-

**ASTM "American Society for Testing Materials":** Una asociación que desarrolla los estándares para materiales y métodos de prueba.

**Barniz:** Cuando se aplica a la lubricación, una película delgada, insoluble no limpiable de depósitos que ocurren en las partes interiores de un motor, como resultado de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes. Puede causar el atascamiento y mal funcionamiento de algunos componentes. Similar a las lacas, pero más suaves que ellas.

**Base:** Un material que neutraliza los ácidos. Un aditivo del aceite que contiene carbonatos metálicos coloidalmente dispersos, utilizados para reducir el desgaste.

**Capacidad de tierra (capacidad de polvo) (capacidad de contaminantes):** El peso de un contaminante artificial especificado, que debe ser agregado a un fluido entrante para producir un determinado diferencial de presión a través de un filtro en condiciones específicas. Se utiliza como un indicativo de la vida relativa en servicio.

**Capacidad de Retención de Partículas. (DHC):** Cantidad medida de contaminantes (expresado en gramos) que el filtro puede retener antes de que entre en by-pass.

**Capacidad:** La cantidad de contaminantes que un filtro puede contener antes de que se presente una caída de presión excesiva. Muchos filtros tienen válvulas de alivio que se abren cuando se alcanza su capacidad.

**Cavitación:** Formación una bolsa o burbuja de aire o vapor debido a una reducción en la presión de un fluido. El picado o el desgaste de la superficie es el resultado del colapso de la burbuja de vapor. La cavitación puede ocurrir en los sistemas hidráulicos como resultado de bajos niveles de aceite jalando aire hacia el sistema, produciendo pequeñas burbujas que se expanden explosivamente en la salida de la bomba, causando erosión del metal y ocasionalmente destrucción de la bomba.

**Centipoises / Gravedad específica = Centistokes.** Centipose (cP): Unidad absoluta de viscosidad. 1 centipose = 0.01 poise. Centistoke (cSt): Unidad de viscosidad cinemática. 1 centistoke = 0.01 Stoke.

**Cilindro:** Un dispositivo que convierte la potencia fluida en una fuerza mecánica lineal y movimiento.

**Claro Dinámico:** Se refiere a la película fluida de separación proporcionada por el lubricante o el fluido hidráulico

**Código de Contaminación Sólida ISO (ISO 4406):** Un código asignado en las bases del número de partículas por unidad de volumen mayores a 4, 6 y 14 micrones de tamaño. Los números de rango identifican cada incremento en la población de las partículas mediante el espectro de niveles.

**Coefficiente de fricción:** El número obtenido de la división de la fuerza de fricción resistiendo el movimiento de dos cuerpos entre la fuerza normal presionando entre los dos cuerpos.

**Compuesto Polar:** Un compuesto químico cuyas moléculas exhiben características eléctricas positivas en un extremo y negativas en el otro. Los compuestos polares son utilizados como aditivos en muchos compuestos de petróleo. La polaridad proporciona a ciertas sustancias una gran afinidad por las superficies sólidas; como aditivos de lubricantes. Dichas moléculas cubren las superficies, para formar películas tenaces, que reducen la fricción y el desgaste. Algunas moléculas polares son solubles al aceite en un lado y solubles al agua en el otro; en los lubricantes, estos compuestos trabajan como emulsificantes, ayudando a la formación de compuestos estables de emulsiones agua-aceite. Compuestos polares con una fuerte atracción por la contaminación sólida actúan como detergentes en aceites de motor, manteniendo los contaminantes finamente dispersos.

**Contaminación incorporada:** Material pasado al flujo de la máquina, compuesto de materiales extraños incorporados a la media filtrante.

**Contaminante generado:** Causado por el deterioro de superficies críticas y materiales o por la falla del fluido.

**Contaminante:** Cualquier material extraño o sustancia no deseada que puede tener un efecto negativo en un sistema en operación, su vida o confiabilidad.

**Contaminantes Ingresados:** Contaminantes del ambiente que ingresan debido a la acción del sistema o la maquinaria.

**Conteo de partículas:** El número de partículas presentes, mayores a un tamaño particular de micrones por unidad de volumen de fluido. Expresado frecuentemente como: "partículas >10 micrones por mililitro".

**Control de Contaminación:** Sistema de planeación, organización, administración e implementación de todas las actividades requeridas para determinar, alcanzar y mantener un determinado nivel de contaminación.

**Curva Tribológica:** Curva que expresa la probabilidad de falla de un elemento en función del tiempo de operación.

**Degradación:** La falla progresiva de un lubricante o una máquina.

**Densidad:** La masa de una unidad de volumen de una sustancia. Es un valor numérico que varía de acuerdo con las unidades usadas.

**Depósitos de Motor:** Acumulación dura o persistente de lodo, barniz, o residuos carbonáceos debidos a la fuga de gases de combustible no quemado o parcialmente quemado o de aceite lubricante parcialmente degradado. Agua de la condensación o agua de productos de la combustión, carbón, residuos de combustible o aditivos del aceite lubricante, polvo y partículas de metal también pueden contribuir.

**Depósitos:** Materiales insolubles en el aceite que son resultado de la oxidación y descomposición del aceite lubricante y la contaminación de fuentes externas y fuga de gases en los motores. Pueden asentarse en la maquinaria y partes del motor. Ejemplos son lodos, barniz, laca y carbón.

**Desgaste Abrasivo (o desgaste de corte):** Se presenta cuando asperezas duras o partículas duras que han sido embebidas en una superficie suave y generan surcos en una superficie dura (ej. Una flecha).

**Desgaste adhesivo:** También conocido como desgarrado (galling), rasguñado (scuffing), escoriado, muescas (scoring), o aferramiento (seizing). Ocurre cuando las superficies deslizantes tienen contacto unas con otras, causando que algunos fragmentos sean arrancados de una superficie para adherirse a la otra.

**Desgaste por fatiga de la superficie:** La formación de grietas en la superficie o sub-superficie y propagación de las grietas. Como resultado de carga cíclica a la superficie.

**Desgaste:** La pérdida de material de la superficie como resultado de una acción mecánica.

**Detergente:** En lubricación, tanto un aditivo o compuesto lubricante que tiene la propiedad de mantener material insoluble en suspensión, para prevenir su depósito en lugares que podría ser peligroso. Un detergente puede también redispersar depósitos que ya se hayan formado.

**Dispersante:** En lubricación, un término usualmente empleado intercambiable con detergente. Un aditivo, usualmente no metálico ("sin cenizas") que mantiene las partículas finas de materiales insolubles en una solución homogénea. Por lo tanto, las partículas no pueden asentarse y acumularse.

**Distribución de tamaño de poro:** La relación del número de poros efectivos de un tamaño dado con el total de poros efectivos por unidad de área expresados en porcentaje y como una función del tamaño de poro.

**Dureza:** La resistencia de una sustancia a la abrasión de la superficie.

**Eficiencia de filtro:** Método para expresar la habilidad del filtro de atrapar y retener contaminantes de un tamaño dado.

**Elemento Filtro:** El dispositivo poroso que desempeña el proceso de filtración.

**Emulsibilidad:** La habilidad de un fluido no soluble al agua de formar una emulsión con agua.

**Emulsificante:** Aditivo que promueve la formación de una mezcla estable, o emulsión, de aceite y agua.

**Emulsión:** Mezcla íntima de aceite y agua, generalmente de una apariencia lechosa o nebulosa. Las emulsiones pueden ser de dos tipos: aceite en agua (donde el agua es la fase continua) y agua en aceite (donde el agua es la fase discontinua).

**Erosión por cavitación:** Un proceso de daño material, como resultado de cavitación por vapores. El daño es resultado de la acción de "martilleo" cuando las burbujas implotan en el flujo del sistema. La Ultra alta presión causada por el colapso de la burbuja, produce deformación, falla del material y finalmente la erosión de la superficie.

**Erosión por partículas:** Ocurre cuando las partículas arrastradas por el fluido moviéndose a altas velocidades, pasan a través de orificios o inciden en superficies y afilan los ángulos de codos.

**Erosión:** La remoción progresiva de la superficie de la maquinaria por cavitación, o por el efecto de las partículas a altas velocidades.

**Espectro Infrarrojo:** Una gráfica de la energía infrarroja absorbida a varias frecuencias en la región del espectro infrarrojo. La muestra actual, el aceite de referencia y la muestras previas son usualmente comparadas.

**Espectroscopía Infrarroja:** Un método analítico utilizando absorción infrarroja para establecer las propiedades del aceite usado y ciertos contaminantes suspendidos en él, Vea FTIR.

**Espectroscopía por Absorción Atómica:** Mide la radiación absorbida por átomos liberados químicamente, analizando la energía relativa transmitida a la energía incidente a cada frecuencia. El procedimiento consiste en diluir una muestra de fluido con un solvente y directamente aspirar la solución. El proceso actual de atomización reduce la solución a un fino spray, disolviéndolo y finalmente vaporizándolo con una flama. La vaporización de las partículas de metal depende de su tiempo en la flama, la temperatura de la flama y la

composición del gas de la flama. El espectro ocurre debido a que los átomos en estado de vapor, pueden absorber radiación a ciertas longitudes de onda bien definidas. Las bandas de longitud de onda son muy angostas y diferentes de un elemento a otro. Adicionalmente, la absorción de energía radiante por transiciones electrónicas de neutro a estado excitado es una medida absoluta de la cantidad de átomos en la flama y por lo tanto de la concentración de los elementos en una muestra.

**Estabilidad a la Oxidación:** Habilidad del lubricante para resistir la degradación natural debida al contacto con el oxígeno.

**Ferrografía analítica:** La precipitación magnética y subsecuente análisis de las rebabas de desgaste de una muestra de aceite. Este procedimiento involucra el pasar una cantidad de aceite sobre una placa de microscopio, químicamente tratada a la que se le aplica un campo magnético. Los magnetos son arreglados para crear un campo magnético a lo largo de la placa. La fuerza variante ocasiona que las rebabas se precipiten en una distribución con respecto a su masa y tamaño en el ferrograma. Una vez que se han fijado en la placa, estos depósitos sirven como un medio excelente para el análisis de las partículas del desgaste.

**Ferrografía:** Un método analítico de comprobar la salud de la maquinaria, mediante la cuantificación y examen de las partículas de desgaste suspendidas en el aceite lubricante.

**Filtración en línea de retorno:** Filtros localizados antes del tanque pero después de que el fluido ha pasado por los componentes de trabajo del sistema.

**Filtración Parcial:** Un sistema de filtración, en el que sólo una parte del flujo total del aceite del sistema pasa a través de un filtro en cualquier instante o en el que un filtro teniendo su propia bomba, circula en paralelo al flujo principal.

**Filtración:** El proceso físico o mecánico de separar materiales insolubles de un fluido, tal como aire o líquido, mediante la circulación del fluido a través de una media filtrante que no permite a las partículas pasar por ella.

**Filtro de drenado ( o retorno):** Filtro localizado en la línea que conduce el fluido de retorno al tanque.

**Filtro de línea de presión:** Un filtro localizado en una línea conduciendo fluido a un dispositivo o dispositivos trabajando.

**Filtro de Succión:** Un filtro en la entrada de la succión de una bomba en el cuál el fluido se encuentra por debajo de la presión atmosférica.

**Filtro en-línea:** Un ensamble de filtro en el que la entrada del fluido, el elemento filtrante y la salida del filtro están en línea recta.

**Filtro magnético:** Un elemento filtrante que en adición a la media filtrante, tiene un magneto o imanes incorporados a su estructura para atrapar y contener partículas ferrosas.

**Filtro:** Un dispositivo o sustancia porosa utilizado como un colador para la limpieza de fluidos mediante la remoción de material en suspensión.

**Fluido Hidráulico:** Fluido que sirve como medio de transmisión de potencia en un sistema hidráulico. Los más comunes son los fluidos de petróleo, aceites minerales, sintéticos y mezclas de agua glicol. Los requerimientos principales de un fluido hidráulico son viscosidad adecuada, alto índice de viscosidad, protección antidesgaste (si es necesaria), buena estabilidad a la oxidación, punto de fluidez adecuado, buena demulsibilidad, inhibidores de herrumbre, resistencia a la espumación y compatibilidad con los materiales y sellos. Los aceites antidesgaste son usados frecuentemente en bombas compactas de alta presión, y capacidad que requieren una extra capacidad protectora.

**Flujo Laminar:** Una situación de flujo en que el fluido se mueve en láminas o capas paralelas.

**Flujo Turbulento:** Una situación de flujo en el que las partículas del fluido se mueven de forma aleatoria. Fretting: Fenómeno de desgaste que tiene lugar entre dos superficies que tienen movimiento oscilatorio de pequeña amplitud.

**Fricción:** La fuerza de resistencia encontrada en los límites de dos cuerpos cuando bajo la acción de una fuerza externa, un cuerpo se mueve o tiende a moverse con relación a la superficie del otro. FTIR = Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier: Una prueba en la que la absorción de luz infrarroja es utilizada para determinar niveles de hollín, sulfatación, oxidación, nitración y contaminación por glicol, combustibles y agua.

**Grado de viscosidad ISO:** Un número indicando la viscosidad nominal de un fluido lubricante industrial a 40°C (104°F) como se define en ASTM D-2422 para el Sistema Estándar de Viscosidad para Fluidos Lubricantes Industriales. Esencialmente igual al estándar ISO 3448.

**Grado de Viscosidad:** Cualquier número de los sistemas, que caracterizan a los lubricantes de acuerdo a su viscosidad para una aplicación en particular, como industrial, motor, engranes, engranes automotrices y aceites de motores de aviones.

**Grasa:** Un lubricante compuesto de un aceite o aceites, espesados con un jabón, jabones o otros espesantes a una consistencia sólida o semisólida.

**Gravedad API:** Una escala de gravedad establecida por el Instituto Americano del Petróleo (API), utilizada por la industria petrolera, la unidad es llamada "Grado API". Esta unidad es definida en términos de la gravedad.

**Hidrocarburo sintético:** Molécula de aceite con calidad superior a la oxidación diseñado principalmente de materiales parafínicos.

**Hidrocarburos:** Compuestos conteniendo sólo carbón e hidrógeno. El petróleo consiste principalmente de hidrocarburos. Hidrofinalizado: Un proceso para el tratamiento de los aceites básicos con hidrógeno para saturarlos para una mejor estabilidad.

**Indicador de Presión diferencial:** Un indicador que señala la diferencia en presión entre dos puntos, típicamente entre antes y después de un elemento filtrante.

**Índice de Viscosidad (VI):** Una medida comúnmente utilizada para medir el cambio de la viscosidad con respecto a la temperatura. Mientras mayor sea el índice de viscosidad, menor será el cambio en la viscosidad con la temperatura.

**Inhibidor de corrosión:** Aditivo que protege las superficies metálicas contra el ataque químico por agua y otros contaminantes. Hay varios tipos de inhibidores de corrosión. Compuestos polares que cubren las superficies de metal preferencialmente, protegiéndolas con una película de aceite. Otros compuestos pueden absorber el agua incorporándose a ella como una emulsión del tipo agua en aceite, para que sólo el aceite toque las superficies del metal. Otros tipos de inhibidores de corrosión se combinan químicamente con el metal, para formar una superficie no reactiva.

**Inhibidor de Oxidación:** Sustancia adicionada en cantidades pequeñas a un producto del petróleo para incrementar su resistencia a la oxidación ya sea para prolongar su servicio o para alargar su vida en almacenamiento. También se le llama anti-oxidante. Un inhibidor de oxidación puede trabajar en una de estas maneras: 1) combinándose con y modificando peróxidos (productos iniciales de oxidación) para convertirlos en no peligrosos, 2) descomponiendo los peróxidos o 3) Convirtiendo los catalizadores en productos inertes.

**Inhibidor:** Cualquier sustancia que reduce o previene las reacciones químicas de corrosión o de oxidación.

**Insolubles:** Partículas de carbón o aglomeraciones de carbón y otros materiales. Indican deposición o agotamiento de los dispersantes en un motor. No es serio en un compresor o en una caja de engranes a menos que haya habido un rápido incremento de esas partículas.

**Laca:** Depósito resultante de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes cuando son expuestos a altas temperaturas. Similar, pero más duro que el barniz.

**Limpieza de asentamiento:** El nivel de contaminación del fluido de un sistema al momento de salir de una reparación o ensamble. La vida de un sistema puede verse grandemente reducida por las condiciones de contaminación resultantes del periodo de asentamiento. Los contaminantes implantados o generados durante el periodo de asentamiento pueden devastar componentes críticos a menos que sean removidos bajo condiciones de operación controladas y filtración de alto desempeño.

**Línea de retorno:** Una línea de conducción del fluido del elemento de trabajo al tanque.

**Líquido:** Cualquier sustancia que fluye fácilmente o cambia en respuesta de la más pequeña influencia. Mas generalmente, cualquier sustancia en que la fuerza requerida para producir una deformación depende de la tasa de deformación mas que de la magnitud de la deformación.

**Lodo:** Material insoluble formado como resultado de reacciones de deterioro en el aceite y contaminación del aceite o ambas.

**Lubricación de película completa:** Presencia de una película continua de lubricante suficiente para separar completamente dos superficies. La lubricación de película completa es normalmente lubricación hidrodinámica, en la que el aceite se adhiere a las superficies en movimiento y es forzado en el área en medio de las superficies deslizantes, donde forma una cuña de presión o hidrodinámica.

**Lubricación Elastohidrodinámica:** En baleros de elementos rodantes, la deformación elástica del rodamiento (aplanamiento) mientras rueda, bajo carga, en la superficie de la pista. Este aplanamiento momentario mejora las propiedades de lubricación hidrodinámicas por la conversión el contacto de punto o línea en contacto de superficie a superficie.

**Lubricación escasa:** Forma de lubricación entre dos superficies sin la formación de una película lubricante completa. La lubricación escasa puede ser más efectiva incluyendo aditivos en el aceite para proporcionar una película mas fuerte para prevenir el desgaste y la excesiva fricción. Hay diferentes grados de lubricación escasa, dependiendo de la severidad del servicio. Para servicio ligero, algunos agentes de oleosidad son recomendados; recubriendo la superficie de los metales con una película delgada durable, estos agentes de oleosidad, protegen los metales bajo condiciones que son muy severas para los aceites minerales puros. Los aceites compuestos, que están formulados con aceites grasos polares, son algunas veces utilizados para este propósito. Los aditivos antidesgaste, son comúnmente utilizados en aplicaciones más severas. Los casos más severos de lubricación escasa se definen como aplicaciones de extrema presión; las cuáles se tiene que cubrir con la aplicación de lubricantes que contengan aditivos EP, que previenen las superficies deslizantes de soldarse a las altas temperaturas y presiones.

**Lubricación hidrodinámica:** Un sistema de lubricación en el que la forma y el movimiento relativo de las superficies deslizantes, causa la formación de una película fluida, teniendo suficiente presión para separar las superficies.

**Lubricante sintético:** Un lubricante producido por síntesis química mas que por extracción o refinamiento del petróleo para producir compuestos con propiedades planeadas y predecibles.

**Lubricante:** Cualquier sustancia que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo con el propósito de reducir la fricción y el desgaste entre ellas.

**Lubricantes E.P. (Extrema Presión):** Lubricante que imparte a las superficies en contacto la habilidad de soportar apreciablemente mayores cargas de las que son posibles con lubricantes ordinarios sin excesivo desgaste o daño.

**Mantenimiento Correctivo:** Mantenimiento efectuado después de que la maquinaria ha fallado para regresarla a su estado de operación.

**Mantenimiento Predictivo:** Un tipo de mantenimiento basado en condición, que enfatiza la detección temprana de una falla, utilizando técnicas no destructivas, como análisis de vibración, termografía y análisis de rebabas de desgaste.

**Mantenimiento Preventivo:** Acciones de mantenimiento desarrolladas sobre la base de un calendario o programa fijo que involucran reparaciones de rutina y reemplazo de componentes y partes de la maquinaria.

**Mantenimiento Proactivo:** Un tipo de Mantenimiento Basado en Condición que enfatiza la rutina de la detección y corrección de las condiciones de causas de falla que de otra manera podrían convertirse en una falla. Dichas causas de falla como alta contaminación de lubricante, alineación y balanceo son tal vez las más críticas.

**Media de celulosa:** Un material filtrante de fibras de plantas. Debido a que la celulosa es un material natural, sus fibras son diferentes en textura y varían de forma y tamaño. Comparados con la media sintética, esas características crean una mayor restricción al flujo de los fluidos.

**Media:** El material poroso que efectúa el proceso de filtración.

**Mejoradores del índice de viscosidad:** Aditivos que incrementan la viscosidad de un fluido con respecto a su rango de temperatura útil. Estos aditivos son polímeros que poseen la fuerza de espesar como resultado de su peso molecular y son necesarios para la formulación de los aceites multigrados de motor.

**Método de Reactivos de Karl Fischer (ASTM D1744-64):** La prueba de laboratorio estándar para medir el contenido de agua en fluidos de base mineral. En este método, el agua reacciona cuantitativamente con el reactivo de Karl Fischer. Este reactivo es una mezcla de yodo, dióxido de azufre piridina y metanol. Cuando existe un exceso de yodo, la corriente eléctrica pasa entre dos platinos electrodos. El agua en la muestra reacciona con el yodo. Cuando el agua ya no puede reaccionar con el yodo, un exceso del yodo despolariza los electrodos, señalando el fin de la prueba.

**Micrón ( $\mu\text{m}$ ):** Una unidad de longitud. Un micrón = la millonésima parte del metro, = 0.000039". El tamaño de los contaminantes usualmente se describe en micrones. Hablando relativamente, un grano de sal de mesa es de cerca de 60

micrones, y el ojo puede ver partículas de hasta 40 micrones. Muchos filtros hidráulicos requieren ser tan eficientes en capturar un porcentaje sustancial de partículas contaminantes tan pequeñas como 5 micrones. Un micrón es también conocido como un micrómetro.

**Modificadores de viscosidad:** Aditivos de los lubricantes, usualmente un polímero de alto peso molecular, que reduce la tendencia de la viscosidad a cambiar con la temperatura.

**Motor:** Un dispositivo que convierte la potencia fluida en fuerza mecánica y movimiento. Usualmente proporciona movimiento mecánico rotatorio.

**Nafténico:** Un tipo de fluido de petróleo derivado del petróleo nafténico, conteniendo una proporción alta de grupos metileno de anillos cerrados.

**Nitración:** Los productos de Nitración, son formados durante el proceso de combustión en motores de combustión interna. La mayoría de los productos de nitración se forman cuando hay un exceso de oxígeno presente. Estos productos son altamente acídicos, forman depósitos en las áreas de combustión y aceleran rápidamente la oxidación.

**Nivel de limpieza (CL):** La medida de la relativa ausencia de contaminantes.

**Número ácido total (TAN):** La cantidad de base, expresada en miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar todos los componentes acídicos presentes en un gramo de muestra. (ASTM D974).

**Número básico total (TBN):** La cantidad de ácido, expresada en miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar todos los componentes básicos presentes en un gramo de muestra. (ASTM D974).

**Oxidación:** Ocurre cuando el oxígeno ataca los fluidos minerales. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos. Esto lleva a un incremento en la viscosidad y formación de depósitos.

**Parafinico:** Un tipo de fluido mineral, derivado del petróleo parafinico y que contiene una alta proporción de hidrocarburos de cadena lineal, saturados. Generalmente son susceptibles a problemas de flujo a bajas temperaturas.

**Partículas laminares:** Partículas generadas en elementos de baleros rodantes que han sido aplanados por el contacto rodante.

**pH:** Medida de la alcalinidad o acidez en agua o fluidos conteniendo agua. El pH puede ser utilizado para determinar las características de inhibición de corrosión en fluidos a base agua. Típicamente, pH >8 requiere que se inhiba la corrosión del hierro o materiales ferrosos en los fluidos a base agua.

**Poros:** Un conducto pequeño o apertura en una media filtrante que permite el paso del fluido.

**Presión - Calda:** Resistencia al flujo creada por el elemento del filtro (media). Definido como la presión diferencial en la presión antes de filtro y después de filtro.

**Prueba de membrana:** Un método en el que un específico volumen de fluidos es filtrado a través de una membrana o estructura porosa conocida. Todas las partículas de materiales en exceso de un tamaño promedio determinado por las características de la membrana son retenidas en la superficie. Comparando visualmente el filtro de prueba con membranas estandarizadas de niveles de contaminación se determina la aceptación del fluido.

**Prueba de polvo fino (ACFTD):** Una prueba de contaminantes utilizada para establecer la sensibilidad del filtro y los contaminantes en todos los tipos de mecanismos de tribológicos.

**Prueba Multipass Standard ISO 16889:** Prueba de desempeño de los filtros en la que un fluido contaminado se le permite recircular por el filtro por la duración de la prueba. Los contaminantes usualmente son agregados al fluido de prueba durante la evaluación. La prueba determina la clasificación Beta de un elemento.

**Punto de Fluides:** La temperatura más baja a la que un aceite o un combustible pueden fluir, cuando son enfriados bajo condiciones establecidas por el método de prueba (ASTM D 97). E punto de fluides es de 3°C (5°F) arriba de la temperatura a la que el aceite en un matraz de prueba no muestra movimiento cuando el contenedor es mantenido horizontalmente por 5 segundos.

**Punto de inflamación (Copa Abierta Cleveland):** La temperatura a la que un líquido combustible debe ser calentado para emitir suficientes vapores, para formar momentaneamente una mezcla flamable con el aire cuando una pequeña flama es aplicada bajo condiciones especificadas. ASTM D92.

**Refrigerante:** Un fluido utilizado para remover el calor (vea fluidos de corte)

**Relación Beta (Relación -  $\beta$ ):** La relación del número de partículas mayores de un tamaño dado en el fluido entrante al filtro con la cantidad de partículas mayores del mismo tamaño que salen del filtro, bajo las condiciones de prueba establecidas.

**Relación de filtración absoluta:** El diámetro de la partícula esférica dura más grande que puede pasar por el filtro en condiciones de prueba especificadas. Esto es una indicación de la apertura más grande en el elemento filtrante.

**Relación de Filtración Nominal:** Un valor arbitrario en micrones indicado por el fabricante de filtros. Debido a su falta de reproducibilidad, este valor es menospreciado.

**Residuo de Carbón:** Material carbonizado que es el resultado de la combustión del aceite bajo condiciones controladas.

**Resistencia de película:** Propiedad de un lubricante que actúa para prevenir el desgaste de las partes metálicas.

**Rodamiento:** Un Balero antifricción que contiene elementos rodantes en la forma de bolas o rodillos, Un soporte o guía en la que una flecha o eje es posicionado, con respecto a las otras partes de un mecanismo.

**SAE:** Society of Automotive Engineers. Clasificación de viscosidades de aceites de motor y transmisiones.

**Sedimentos:** Partículas contaminantes de un tamaño de 5 micrones o menos.

**Separador centrífugo:** Separador que remueve contaminantes inmiscibles líquidos y sólidos que tienen diferente gravedad específica, que la del fluido a ser purificado, por medio de la aceleración mecánica del fluido con un patrón circular utilizando la aceleración radial para separar los contaminantes.

**Separador electrostático:** Un separador que remueve contaminantes de fluidos dieléctricos mediante la aplicación de una carga eléctrica a los contaminantes que son atraídos a un dispositivo de recolección de carga eléctrica diferente.

**Separador por vacío:** Un separador que utiliza presión sub-atmosférica para remover ciertos gases y líquidos de otro líquido debido a sus diferencias en presión de vapor.

**Taponamiento por contaminación:** Un atascamiento de dispositivos de la maquinaria, ocasionado por partículas o fibras de contaminación sólida.

**Tasa de Corte (gradiente de velocidad):** Tasa a la que las capas adyacentes de un fluido se mueven unas con respecto a las otras, usualmente expresado como segundos recíprocos.

**Tasa de Flujo:** El volumen, masa, o peso de un fluido pasando por un conductor en una unidad de tiempo.

**Termografía:** El uso de termografía infrarroja donde temperaturas de una amplia variedad de objetivos pueden ser medidas remotamente y sin contacto. Esto se logra midiendo la energía radiante infrarroja de la superficie del objetivo y convirtiendo esta en una medida equivalente a la temperatura de la superficie.

**Tribología:** La ciencia y la tecnología de las superficies interactuantes en movimiento relativo, incluyendo el estudio de la lubricación, fricción y desgaste. El desgaste tribológico es el desgaste que ocurre como resultado del movimiento relativo de la superficie.

**Válvula de Alivio:** Un mecanismo de válvula que asegura que el aceite fluirá en el sistema cuando se exceda la presión diferencial pre-establecida en el elemento filtrante. La válvula permite el paso del aceite saltando el filtro.

**Válvula:** Un dispositivo que controla la dirección del fluido o la tasa de flujo.

**Viscosímetro:** Un aparato para determinar la viscosidad de un fluido.

**Viscosidad Absoluta:** La relación de la tasa de agitación con el gradiente de velocidad de un fluido. Se expresa en Centipoises. Es un término utilizado intercambiamente con Viscosidad para distinguirla de la viscosidad cinemática o viscosidad comercial. La viscosidad absoluta es la relación del estrés de corte con la tasa de estrés. Es la resistencia interna de un líquido a fluir. La unidad común de la viscosidad absoluta es el poise. La viscosidad absoluta dividida por la densidad del fluido es igual a la viscosidad cinemática. Ocasionalmente se le refiere como viscosidad dinámica. La viscosidad absoluta y la cinemática son expresadas en unidades fundamentales. La viscosidad comercial como la viscosidad Saybolt se expresa en unidades arbitrarias de tiempo, usualmente segundos.

**Viscosidad Cinemática:** La viscosidad absoluta, dividida por la densidad del fluido. Se expresa en centistokes. El tiempo requerido para que una cantidad fija de un aceite fluya a través de un tubo capilar bajo la fuerza de la gravedad. La unidad de la viscosidad cinemática es el stoke o centistoke (1/100 de un stoke). La viscosidad Cinemática puede ser definida como el cociente de la viscosidad absoluta en centistokes, dividida por la gravedad específica de un fluido, ambos a la misma temperatura.

**Viscosidad:** Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm de espesor. Dado que la viscosidad varía inversamente proporcional con la temperatura, su valor no tiene utilidad si no se relaciona con la temperatura a la que el resultado es reportado.

**Volátil:** Esta propiedad describe el grado y tasa a la que un líquido se vaporizará bajo ciertas condiciones de temperatura y presión. Cuando la estabilidad líquida cambia, esta propiedad es frecuentemente reducida en su valor.

**ZDDP:** Un aditivo antidesgaste encontrado en muchos tipos de fluidos hidráulicos y fluidos lubricantes. Dialquil ditiofosfato de zinc.

**CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA.**

1. Adolfo Málaga, David; 2001; Técnicas De Muestreo De Lubricantes. España.
2. Barnes, Mark; Enero 2004; Designing a World-Class Oil Analysis Program; en Practicing Reliability World.
3. Catalán, Octavio; 2002; La nueva Norma ISO 11171; Santiago, Chile.
4. Entin, Oscar; 2002; Importancia del control de la contaminación en los fluidos hidráulicos y lubricantes; Oscar Entin Filtración Industrial S.A. Argentina.
5. Fitch, James C.; Análisis de Aceite para el nuevo milenio; Por: Noria Corporation. Traducción y adaptación: Gerardo Trujillo.
6. Hart, M. 2002, Factors to consider when setting trendline alarms; en Practicing Oil Analysis Magazine; Noria Corporation.
7. Hart, M. 2006. Oil analysis as a predictive maintenance tool with an emphasis on predictive maintenance applications; en Practicing Oil Analysis Magazine.
8. Ingelub. Ingenieros de Lubricación Ltda; Febrero 2004. Página Web. Bogotá. Colombia.
9. Ipeman. Instituto Peruano de Mantenimiento. Revista Mantenimiento. Edición 2006.
10. Khonsari, M.M y Booser, E.R. Ajustando la filtración de aceite con los requerimientos de la máquina; Universidad del Estado de Louisiana.
11. Lean Manufacturing, 2006; Los Carros de Filtración Capturan Contaminantes; en las memorias de las conferencias de "Lubrication Excellence"
12. Manual de Seguridad y Prevención de Pérdidas; 1997. Minera Yanacocha; Cajamarca; Perú.
13. Mayer, Ashley; September 2005; A Hands-on Approach to Limit Selection and Use; Practicing Oil Analysis Magazine; Noria Corporation.
14. Mayer, Ashley; Setiembre 2006; The Oil Sampling Dogfight; en Practicing Oil Analysis, Magazine.
15. Mobil Oil del Perú, 1997; En "Manual de Productos". Lima, Perú.

16. Mobil Oil Corporation; 1997; Manual de Lubricación. Houston, USA.
17. Molykote, 2002; Auditor para Maquinaria de Lubricación. Página web.
18. Mosquera, Genaro; 2000; Estimación de parámetros de confiabilidad y Mantenibilidad en Sistemas Industriales; Centro de Altos Estudios Gerenciales; Caracas, Venezuela.
19. Páramo, José; 2006; Interpretación sistemática del análisis de aceite – Técnica SACODE; Noria Latín América.
20. Rabinowicz, E. 1981, Instituto Tecnológico de Massachussets (M.I.T) en ASLE Bearing Workshop.
21. Schroeder Industries LLC; 2005; Element Technical Data Fundamentals; Hamburgo, Alemania.
22. Scout, Robert; Julio 2008; Update your Oil Analysis Program, en Practicing Oil Analysis Magazine.
23. Separation Technologies; 2000. Principles of Filtration; USA.
24. Shell de Colombia, 2002, Cap 5 Lubricantes para Sistemas Hidráulicos, en "Tutor de Lubricación de Shell"
25. Shell Lubricantes del Perú; 2007. En "Manual de Productos". Lima, Perú.
26. Simmonds, Rob; 2007; Esto es todo acerca del Tamaño; R&t Reliability Technologies Pty Ltd.
27. Smith, Mark; 2000; Taking the mystery of interpreting elemental analysis trends; Analyst Inc.
28. Texaco del Perú; 1997. Manual de Métodos de Análisis de Aceites.
29. Trujillo, Gerardo; 2002; Interpretación de Análisis de Aceites; En "Machinery Lubrication Magazine" Edición digital. Noria Corporation.
30. Trujillo, Gerardo; 2001; Implementación de un Programa de Mantenimiento Proactivo; En "Machinery Lubrication Magazine" Edición digital. Noria Corporation.
31. Trujillo, Gerardo; 2003; Los Lubricantes Sintéticos; En [www.noria.com.mx](http://www.noria.com.mx) Noria Latín América.
32. Trujillo, Gerardo; Abril Mayo 2007; Análisis de Aceite, una Estrategia Proactiva y Predictiva; En Machinery Lubrication Magazine. Noria Latín América.

## **Anexo A**

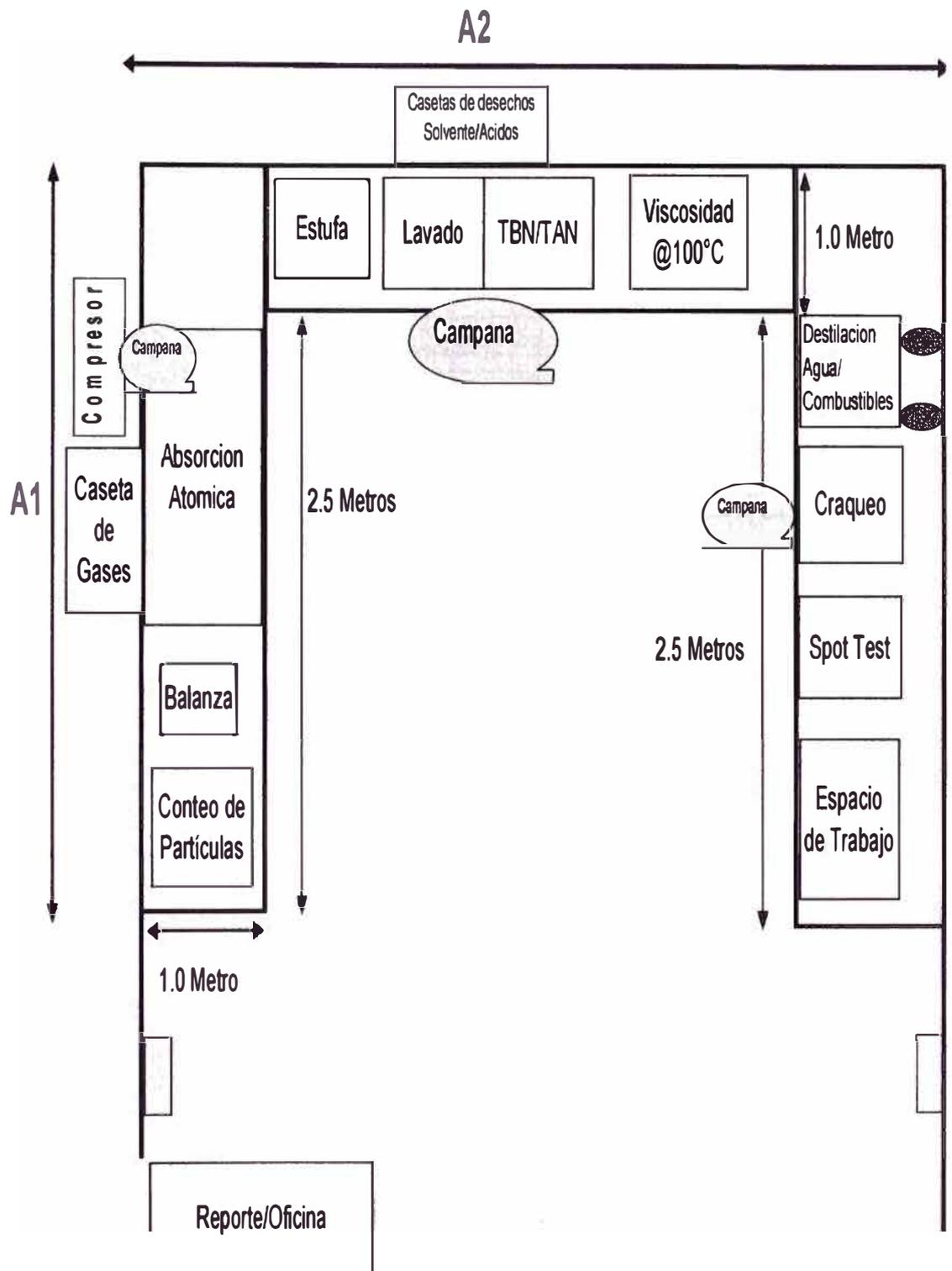
### **Configuración de un laboratorio para una empresa Minera.**

#### **A.1 Diseño del plano del laboratorio.**

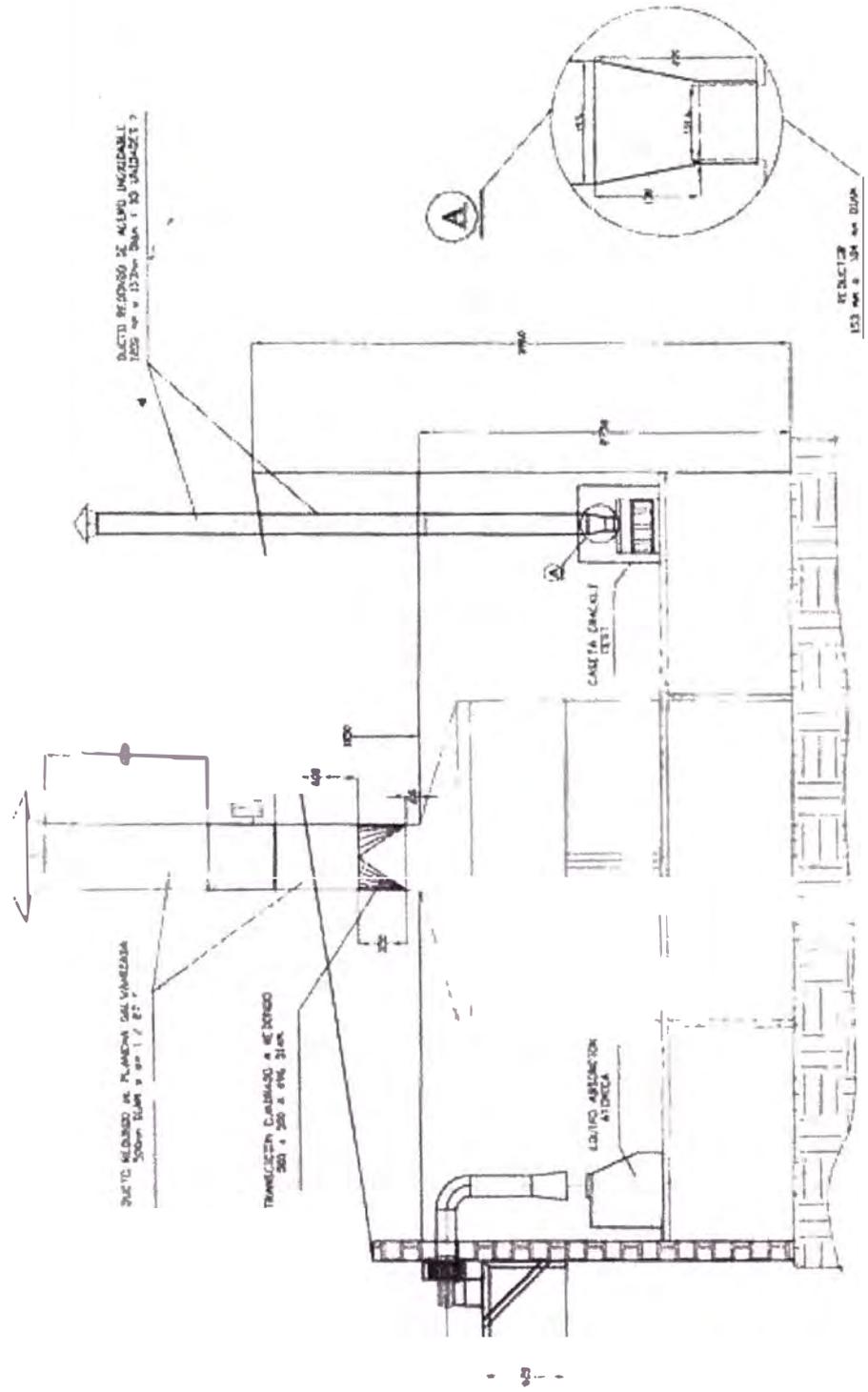
##### **A.1.1- Principios para determinar la ubicación del laboratorio.**

Los principios utilizados para determinar la ubicación del laboratorio son sencillamente de acuerdo a la disponibilidad de espacio en la planta o ambiente de trabajo y en segundo lugar en función a la minimización del recorrido entre el lugar donde las muestras son obtenidas y el laboratorio.

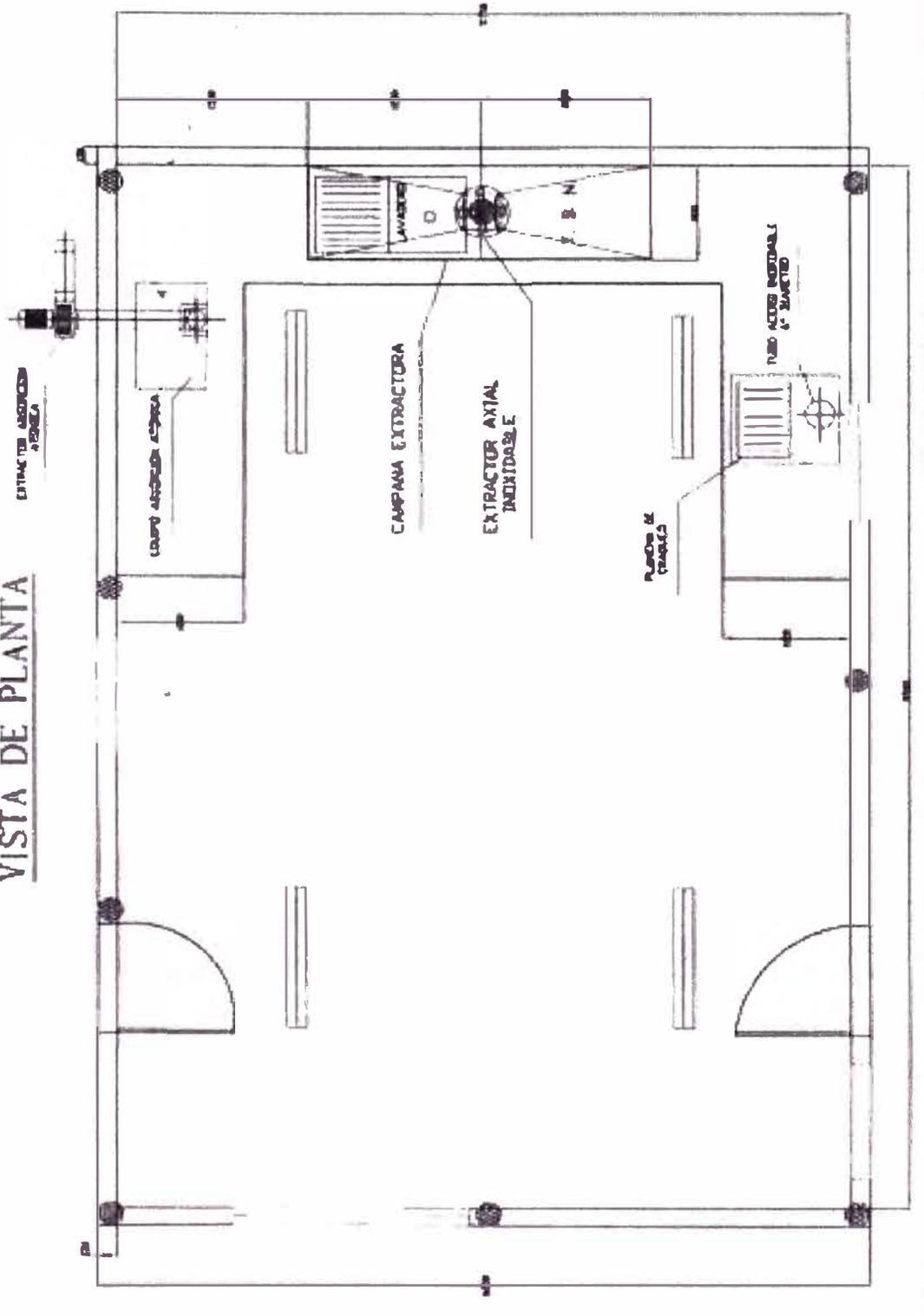
##### **A.1.2- Ubicación de los ambientes para las pruebas: Viscosidad, Spot Test, Crepitación, destilación, absorción atómica. Conteo de partículas.**



### A.1.3 Ubicación de las campanas extractoras.



# VISTA DE PLANTA



- El Sistema propuesto, se ha dimensionado para la extracción de gases del Laboratorio de Análisis de Aceites.
- Para la Campana se prevé el uso de láminas de acero inoxidable AISI 304, según esquema adjunto.
- Se prevé el uso de un Extractor Tubo Axial, tipo chumaceras protegidas, bridado y fabricado en Acero Inoxidable, accionado a través de un motor WEG / Siemens de 1 HP – 4 Polos.
- Se incluye el suministro de un Tablero ( Arranque Directo ) como sistema de protección, incluye contactor, pulsadores y relé de protección marca Siemens o Telemecanique.
- Para la eliminación segura de los gases, se prevé el suministro de ductos en plancha Galvanizada de 1/27 " de espesor.

## A2- Selección de los Equipos Auxiliares.

### A.2.1 Consumos de gases industriales.

Número mensual de muestras Procesadas

420 muestras

	Acetileno	Oxido Nitroso
Consumo Específico Kg/muestra	0.015	0.038
Consumo Mensual de Gases Kg	6.27	15.77
	Acetileno	Oxido Nitroso
Densidad a condiciones Estándar (Kg/m <sup>3</sup> )	1.1708	1.9781
	Acetileno	Oxido Nitroso
Volumen Std Consumido de Gases Industriales (m <sup>3</sup> )	5.4	8.0

### A.2.2 Selección de las líneas de gases industriales: Oxido nitroso, acetileno para el espectrofotómetro.

Considerando un mes de 30 días y 1 hora de consumo por día

Horas mensuales utilizadas con Gases

30 h

	Acetileno	Oxido Nitroso
Flujo de diseño de las líneas de gases (m3/h)	0,179	0,266
Flujo de diseño de las líneas de gases (L/min)	2,97	4,43

### Diseño de la línea de Acetileno

El cálculo se realizará en forma aproximada considerando como flujo no compresible ya que el tramo de tuberías es de muy poca longitud.

Flujo estándar de Acetileno 0,00005 m3/s

	Condiciones Reales	Condiciones Estándar	
P	11.0	14,7	psia
T	10	0	C°
T	283,15	273,15	K°

Flujo a condiciones reales de Acetileno 0,00006 m3/s

El área de flujo es de 0,104 pulg 2

El área de flujo es de 0,000007 m2

Velocidad por la línea 9,53 m/s

### Cálculo del Número de Reynolds

Densidad 0,839 Kg/m3

Densidad 0,840 g/l

Viscosidad 0,0001 g/(cm\*s)

Viscosidad 0,0002 Kg/(m\*s)

Diámetro interno 0,364 pulg

Diámetro interno 0,0092456 m

**NRE** **7774,79**

**Diámetro de tubería seleccionada** **1/4** pulg

### Diseño de la línea de Oxido Nitroso

Flujo estándar de Acetileno 0,00007 m3/s

	Condiciones Reales	Condiciones Estándar	
P	11 0	14,7	psia
T	10	0	C°
T	283,15	273,15	K°

Flujo a condiciones reales de Oxido Nitroso 0,0001 m3/s

El área de flujo es de 0,104 pulg 2  
 El área de flujo es de 0,000007 m2  
 Velocidad por la línea 14,18 m/s

### Cálculo del Número de Reynolds

Densidad 1,42 Kg/m3  
 Densidad 1,42 g/l  
 Viscosidad 0.0001 g/(cm\*s)  
 Viscosidad 0.00001 Kg/(m\*s)  
 Diámetro interno 0.3640 pulg  
 Diámetro interno 0.0092 m

**NRE** **13288.68**

**Diametro de tubería seleccionada** **1/4** **pulg**

## A.2.3 Consumo de aire para el espectrofotómetro.

### CALCULO DEL FLUJO DE AIRE PARA EL EQUIPO DE ABSORCION ATOMICA



Volumen 38 LT  
Temperatura 10 °C

Presión barométrica 8,10 psia  
Presión barométrica 0,55 atm

Condiciones normales  
P 14,7 psig  
T 60 °F  
T 15,56 °C

#### CAIDA DE PRESION EN EL TANQUE DEL COMPRESOR

Proceso Isotérmico

#### Flujo de aire seteado en el rotámetro

**35 Unid**

Toma de datos

Tiempo	Presión	Presión	Masa Res.
seg	psig	atm	gr
0	79	5,93	281,22
119	70	5,31	252,16
191	65	4,97	236,01

Pendiente 0,2374 gr/seg Flujo másico del aire  
Flujo volumétrico 0,041 Lt/seg medidos a 10 ° C y 60 psig

transformando a condiciones estandar

**Flujo a condiciones estandar 0,352 Lt/seg**  
**Flujo a condiciones estandar 21,11 Lt/min**

#### Flujo de aire seteado en el rotámetro

**46 Unid**

Toma de datos

Tiempo	Δ Tiempo	Presión	Presión	Masa Res.
seg	seg	psig	atm	gr
0	0	78,2	5,87	278,63
33,65	33,65	75	5,65	268,30
80,88	47,23	70	5,31	252,16
133,23	52,35	65	4,97	236,01

Pendiente 0,3222 gr/seg Flujo másico del aire  
Flujo volumétrico 0,056 Lt/seg medidos a 10 ° C y 60 psig

transformando a condiciones estandar

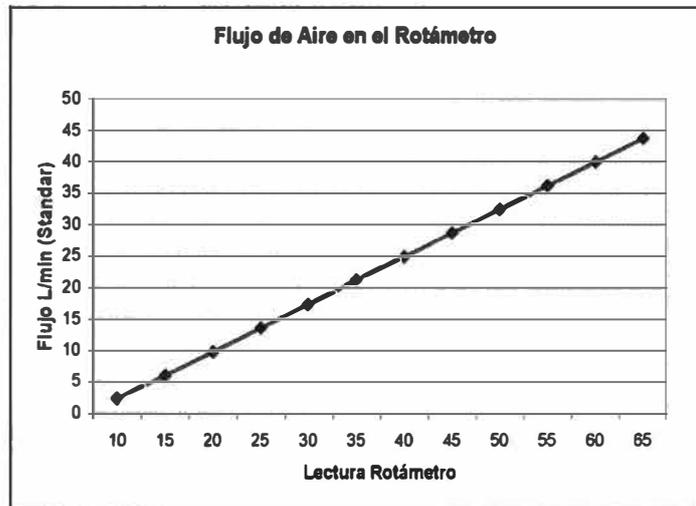
**Flujo a condiciones estandar 0,478 Lt/seg**  
**Flujo a condiciones estandar 28,66 Lt/min**

## Resumen

Lectura Rotámetro	Flujo Standar
Unid	L/min
35.00	21.11
45.00	28.66

Pendiente 1.325575  
Intercepto 7.0107482

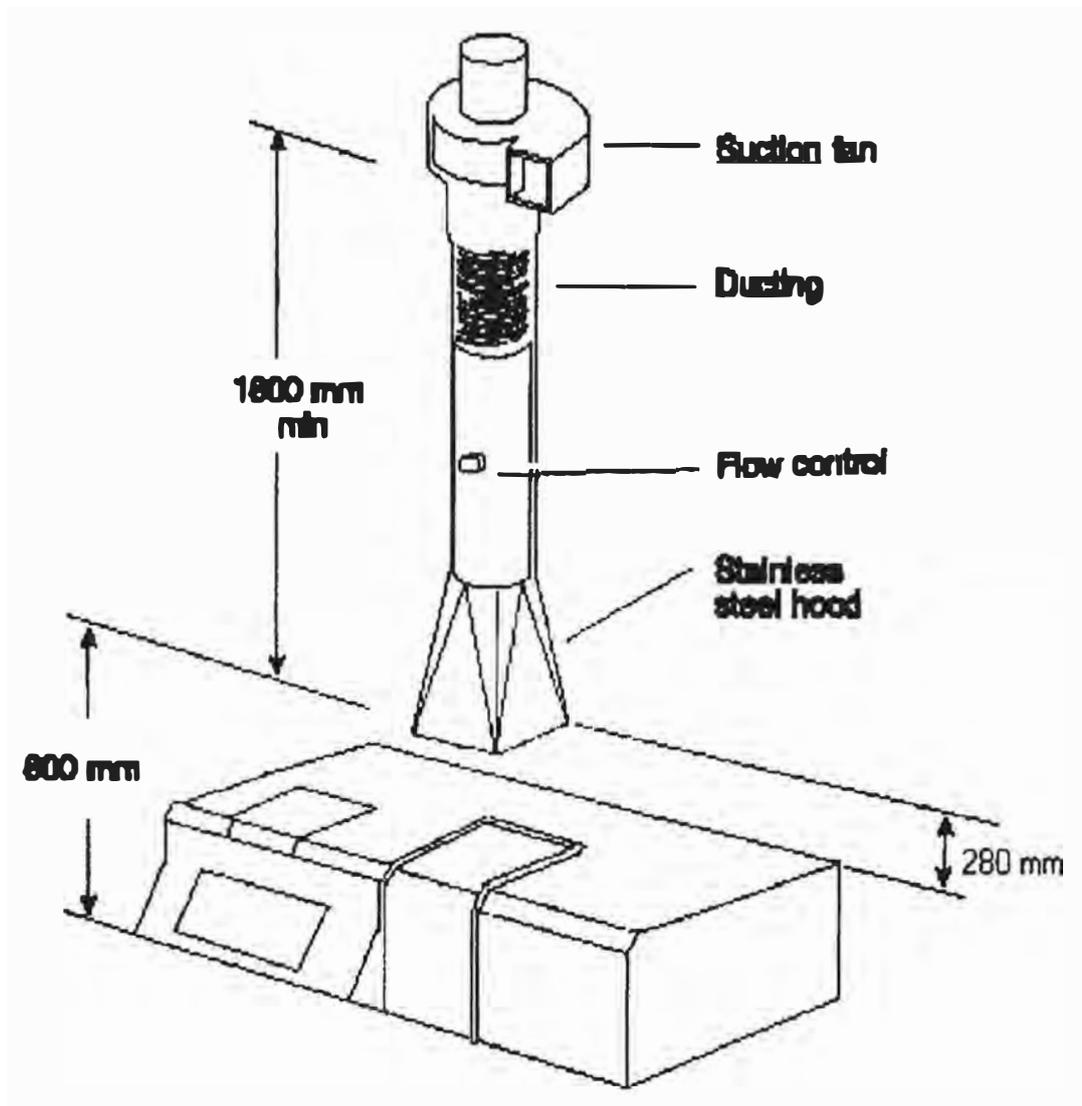
Lectura Rotámetro	Flujo Standar
10	2.2550605
15	6.0270084
20	9.7989564
25	13.570904
30	17.342852
35	21.1148
40	24.886748
45	28.658696
50	32.430644
55	36.202592
60	39.97454
65	43.746488

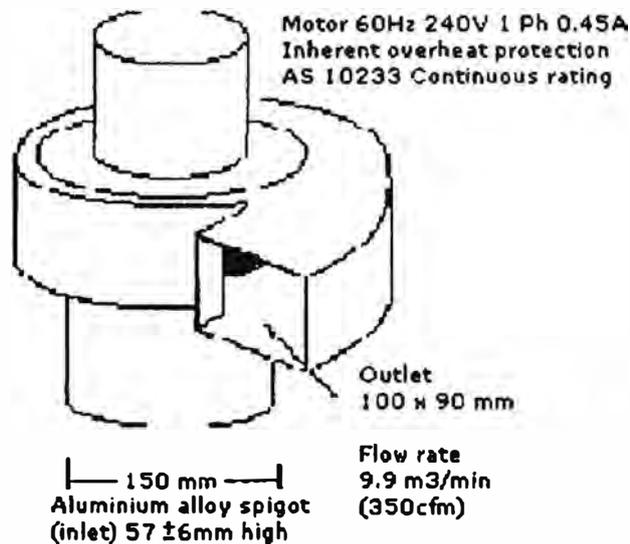


### A.2.4 Selección del compresor de aire.

<b>Descripción</b>	Compresor de Aire 220 V
<b>Marca</b>	Gast
<b>Modelo</b>	3HBE-31T M303X
<b>Nº Serie</b>	VLL111270
<b>Pmax</b>	250 psig

**A.2.5 Selección de la campana de extracción para la prueba de absorción atómica.**



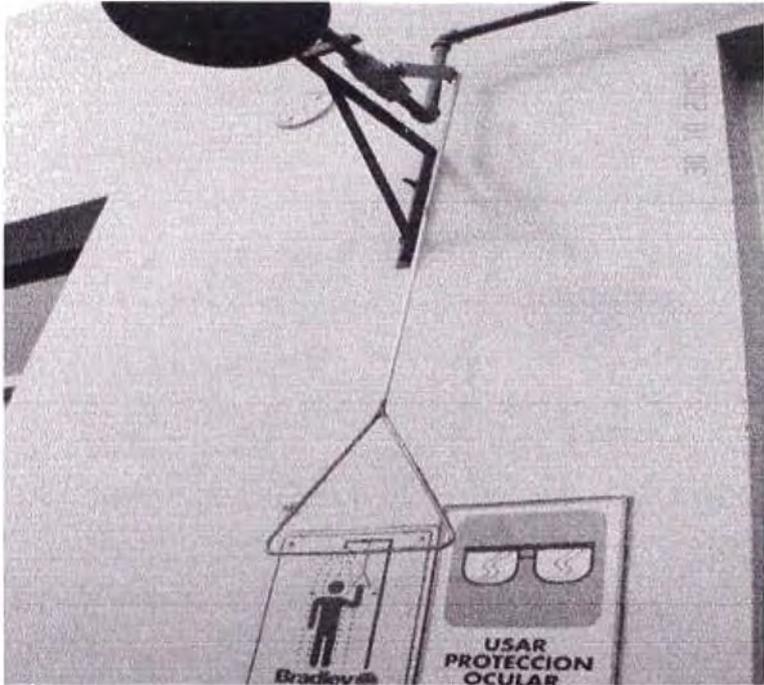


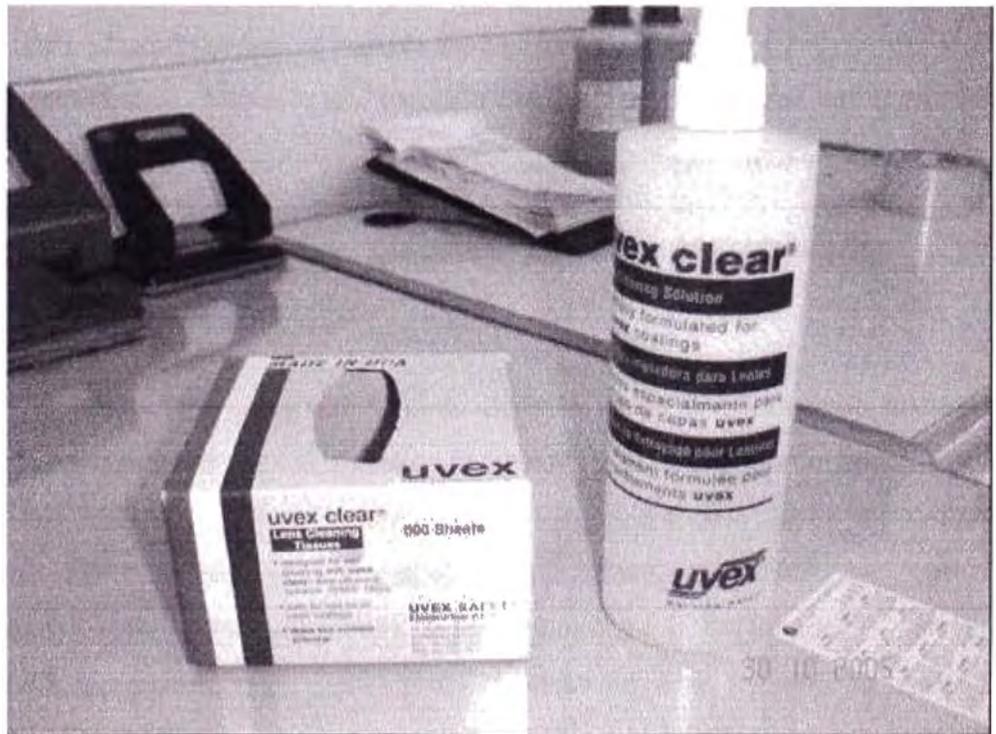
### **A.3- Medidas de seguridad contempladas en la operación del laboratorio.**

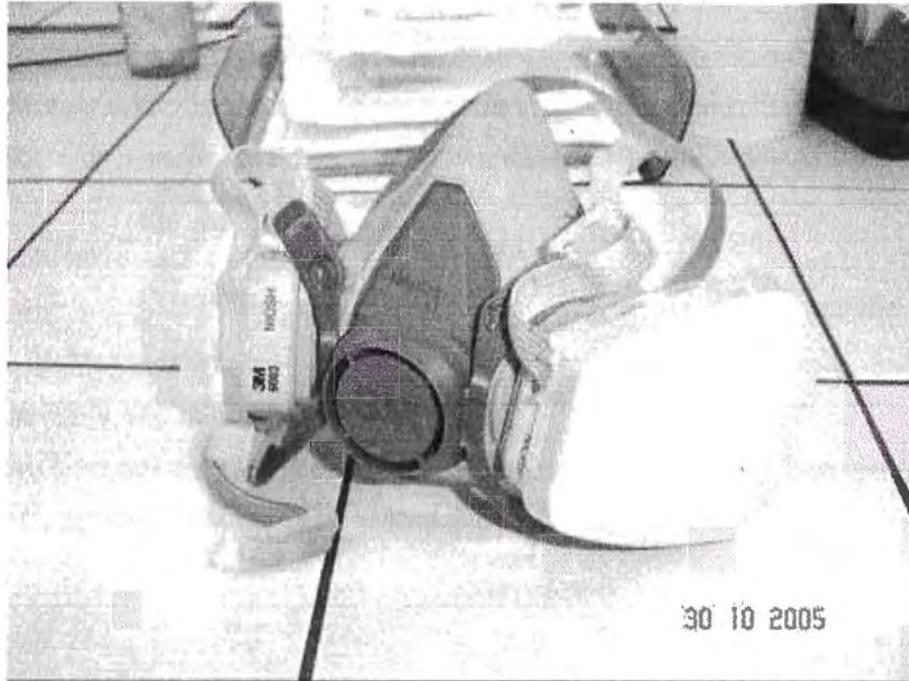
#### **A.3.1- Equipos de protección personal EPP.**

El laboratorio cuenta con adecuadas medidas de seguridad y de cuidado del medioambiente que permite el cuidado de la salud y la integridad del personal analista que realiza los análisis y también practica medidas de cuidado del medioambiente y un adecuado programa de eliminación responsable de los desechos que se generan en el laboratorio.

En la siguiente figura se muestra la ducha de emergencia para los casos en que una persona haya contaminado sus prendas de vestir con sustancias inflamables y se hayan encendido.







## **Anexo B**

### **Pruebas de Laboratorio para Análisis de Lubricantes.**

#### **B.1- Propiedades de los fluidos. Propiedades físicas y químicas del aceite usado**

##### **B.1.1- Análisis de la viscosidad cinemática.**

**ASTM D445-2001**

#### **PROPOSITO:**

Este método especifica un procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática,  $\nu$  de productos de petróleo líquidos, midiendo el tiempo para que un determinado volumen de líquido fluya bajo gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio graduado. La viscosidad dinámica,  $\eta$ , puede ser obtenida multiplicando la viscosidad cinemática,  $\nu$  por la densidad,  $\rho$ , del líquido.

El rango de las viscosidades cinemáticas cubierta por este método es desde 0.2 hasta 300000 mm<sup>2</sup>/s.

### **RESUMEN DEL METODO:**

El tiempo es medido para un líquido que va a fluir bajo gravedad a través de un capilar de un viscosímetro calibrado, bajo un motor de cabeza reproducible, bajo un control estricto y una temperatura conocida. La viscosidad cinemática es el producto de la medición del tiempo de fluido y la constante de calibración del viscosímetro.

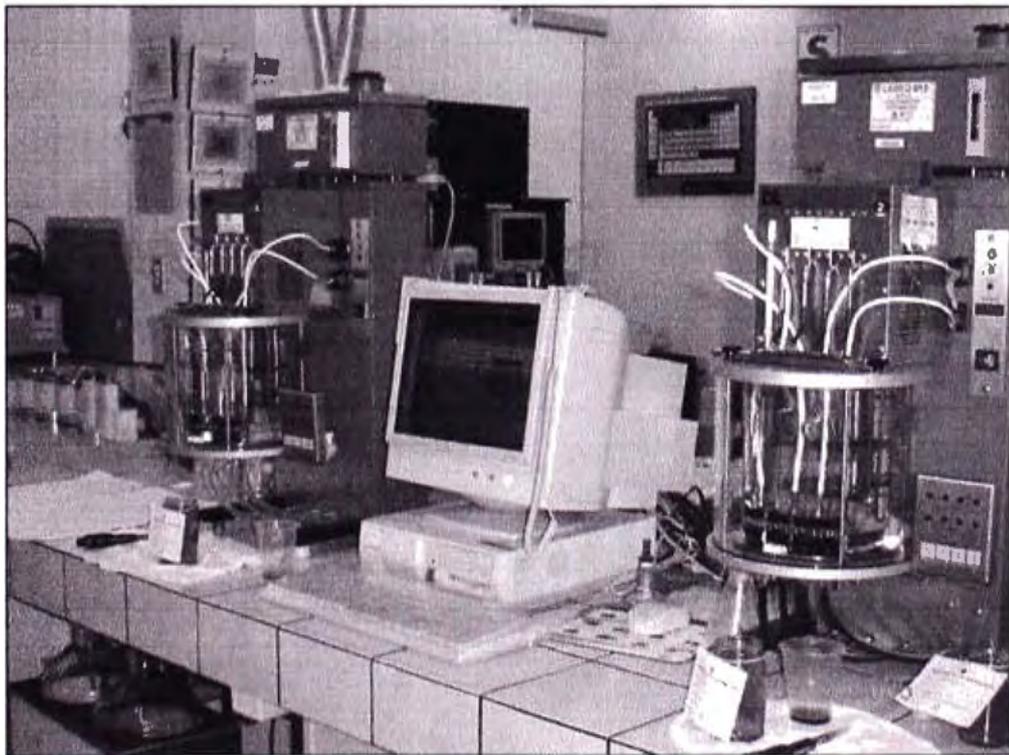
### **APARATOS:**

**Viscosímetro:**

Marca ISL, Huillon a 100 °C.

Micropipeta ISL a 440 microlitros de medida.

Termómetro de medición de temperatura en el rango de 0 a 100°C: Termómetro ASTM 121C, calibrados con una exactitud de +/- 0.05°C o mejor.



### **B.1.2- Número Ácido Total. TAN.**

El Número Acido Total (TAN) ó Número de Neutralización (NN) del aceite se da en mg KOH/g Este parámetro permite cuantificar el agotamiento del aditivo antioxidante del aceite y el deterioro de la reserva alcalina de la base lubricante a través del tiempo. El TAN del aceite nuevo puede ser cero ó ligeramente superior a este valor, debido a la tendencia ácida de ciertos aditivos presentes en el aceite, en promedio entre 0,1 y 0,3 mg KOH/g; aumenta muy poco mientras el aceite tenga aditivos antioxidantes, ya que estos van neutralizando el SO<sub>2</sub> que se va formando en el aceite, transformándolo en otros tipos de compuestos que no tienen tendencia ácida ó ligeramente ácida como los ácidos débiles. Este periodo de tiempo es más ó menos largo dependiendo de las condiciones operacionales del mecanismo; una vez que los aditivos antioxidantes se agotan, se inicia el proceso de oxidación, propiamente dicho de la base lubricante, el cual es bastante critico, haciendo que en poco tiempo el TAN aumente rápidamente hasta el valor máximo permisible, que por lo regular en la mayoría de los aceites es de 1,0 mg KOH/g. Una vez que se alcanza este valor, el incremento del TAN es exponencial, alcanzando valores extremadamente altos, en cortos periodos de tiempo, como 80-100 mg KOH/g., siendo necesario cambiar el aceite en el menor tiempo posible, antes de que ocurra esta situación.

### **B.1.3- Número Básico Total. TBN.**

**ASTM D974-2001**

### **METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL NUMERO ACIDO Y EL NUMERO BASICO POR TITULACION COLOR-INDICADOR**

#### **PROPOSITO:**

Este método comprende la determinación de los constituyentes ácidos y básicos en los productos del petróleo y lubricantes solubles o casi solubles en mezclas de tolueno y alcohol isopropílico. Es aplicable para la determinación de ácidos y bases

de quienes sus constantes de disociación en agua son mayores de  $10^{-9}$ ; extremadamente ácidos débiles y bases que tienen constantes de disociación menores a  $10^{-9}$  no interfieren.

#### **RESUMEN DEL METODO:**

Para determinar el número de ácidos y el número de bases, la muestra es disuelta en una mezcla de tolueno y alcohol isopropílico conteniendo una pequeña cantidad de agua y el resultado de la solución de fase única es titulado a temperatura ambiente con base alcohólica estándar y solución ácida alcohólica, respectivamente, a un punto final indicado por el cambio de color del indicador p-naftolbenzeina (naranja en ácidos y verde marrón en bases).

#### **APARATOS:**

**BURETA:** Una bureta graduada de 50ml graduada en subdivisiones de 0.1ml o en una bureta de 10 ml graduada en subdivisiones de 0.05ml.

#### **REACTIVOS:**

##### **PUREZA DE REACTIVOS:**

El grado químico debe ser del tipo reactivo el cual debe ser usado en todas las pruebas. Al menos de otra especificación, todos los reactivos deben ser usados de acuerdo a las especificaciones del Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química.

**ALCOHOL ISOPROPILICO ANHIDRO:** Que contenga menos de 0.9% de agua, (inflamable).

**SOLUCION ACIDO CLORHIDRICO, ESTANDAR ALCOHOLICO (0.1M):** Mezclar 9ml de ácido clorhídrico concentrado (HCL, sp gr 1.19) con 1000ml de alcohol isopropílico anhidro (2-propanol). Estandarizar frecuentemente para detectar los cambios de molaridad de 0.0005 preferiblemente por una titulación electrométrica de aproximadamente 8 ml de la solución de KOH alcohólico (0.1M), diluida con 125 ml de agua libre de dióxido de carbono.

**INDICADOR NARANJA DE METILO:** Disolver 0.1g de naranja de metilo en 100 ml de agua.

**SOLUCION INDICADOR P-NAFTOLBENZEINA:** Preparar la solución de p-naftolbenzeína en solvente de titulación igual a 10 +/- g/l.

**SOLUCION HIDROXIDO DE POTASIO, ESTANDAR ALCOHOLICO (0.1M) :**

Agregar 6 gr. De sólido KOH a aproximadamente 1 litro de alcohol isopropilico anhidro (conteniendo menos de 0.9% de agua), en un frasco. Hervir la muestra ligeramente por 10 a 15 minutos, previendo que los sólidos no se formen en el fondo. Agregar 2 gramos de hidróxido de bario y luego hervir nuevamente.

Posteriormente debemos enfriar a temperatura ambiente y que permanezca por varias horas y filtrar el liquido sobrante con un embudo de porcelana. Evite la innecesaria exposición a dióxido de carbono durante la filtración. Guardar en una botella resistente química fuera del contacto con corchos, cuero o una llave de cierre, y proteger con un tubo que contenga soda (con cal).

#### **ESTANDARIZACION DE LA SOLUCION DE HIDROXIDO DE POTASIO**

Pesar 0.2 gramos de ftalato ácido de potasio, el cual ha sido secado por lo menos 1 hora a 110 +/-1°C y disuelto en 40 +/- 1ml de agua, libre de CO<sub>2</sub>. Titular con la solución alcohólica de hidróxido de potasio a cualquiera de los siguiente puntos finales:

- Cuando la titulación es colorimétrica agregar 6 gotas de indicador fenolftaleína y titular hasta la aparición de un color rosado permanente.

Realizar la titulación del blanco sobre el agua usada para disolver el ftalato ácido de potasio. Calcular la normalidad usando la siguiente formula:

$$\text{Normalidad} = \frac{W_p * 1000}{204.23 (V - V_b)}$$

**Donde:**

- Wp** = Peso del ftalato ácido de potasio.
- 204.23** = Peso molecular del ftalato ácido de potasio.
- V** = Volumen de titulación usado para titular la sal hasta el punto específico final, ml
- Vb** =Volumen de titulación usado para titular el blanco, ml

**SOLUCION DEL INDICADOR FENOLFTALEINA:** Disolver 0.1 +/- 0.01g de puro sólido de fenolftaleína en 50 ml de agua, libre de CO<sub>2</sub> y 50 ml de etanol.

**SOLVENTE DE TITULACION:** Adicionar 500ml de Tolueno y 5 ml de agua a 495 ml de alcohol anhidro isopropílico.

#### **PROCEDIMIENTO PARA EL NUMERO ACIDO:**

Dentro de un erlenmeyer, introducir una cantidad de muestra pesada (de 0.5 a 1.5 gramos). Adicionar 100ml de solvente de titulación y 0.5ml de solución del indicador, inmediatamente se debe hacer una agitación hasta que la muestra sea disuelta completamente por el solvente. Si la muestra se torna de color amarillo-naranja, proceder como el punto 8.2 y si se torna de color verde o verde negro, proceder como el punto 9.

Sin que exista retraso, debemos titular a una temperatura debajo de los 30°C. Adicionar solución de KOH(0.1M) en determinadas proporciones como sea necesario (siempre en agitación). Agitar vigorosamente cuando se este cerca del punto final, pero evitando la disolución de CO<sub>2</sub> en el solvente(en el caso de aceites ácidos, el color naranja cambia a un verde o verde-marron cuando se este alcanzando el punto final. Considere el punto final si el cambio de color persiste por 15 segundos, o esto cambia con 2 gotas de 0.1M.

**BLANCO:** Realizar una titulación a 100ml de solvente de titulación y 0.5 ml de solución indicadora, adicionando 0.1ml o menos incrementos de solución de KOH(0.1M).

**PROCEDIMIENTO PARA EL NUMERO DE BASES:**

Si el solvente de titulación conteniendo la muestra, se torna de un color verde, verde-marron después de que el indicador a sido adicionado, se debe realizar la titulación conforme a sido descrita anteriormente, pero usando HCL(0.1M) y titular hasta que el color verde marrón cambia a naranja.

**CALCULO DEL NUMERO ACIDO:**

$$\text{Numero de ácido, mg de KOH/g} = [(A - B)M * 56.1] / W$$

Donde:

A = Solución de KOH requerida para la titulación de la muestra , ml.

B = Solución de KOH requerida para la titulación del blanco, ml.

M = Molaridad de la solución de KOH.

W = Peso de la muestra usada en g.

**CALCULAR EL NUMERO BASE:**

$$\text{Numero de base, mg de KOH/g} = [(Em + FM)* 56.1] / W$$

Donde:

E = Solución de HCL requerida para la titulación de la muestra, ml.

m = Molaridad de la solución de HCL.

F = Solución de KOH requerido para la titulación de la solución blanco, ml.

M = Molaridad de la solución de KOH.

W = Peso de la muestra usada, g.

**REPORTES:**

Reportar los resultados del numero de ácidos y numero de bases de la siguiente manera:

Numero de ácido(D974) = (resultado).  
Numero de bases (D974}) = (resultado).

#### **B.1.4- Análisis Infrarrojo FT IR. Método Integra 2002.**

##### **B.1.4.1- Oxidación.**

##### **B.1.4.2- Nitración.**

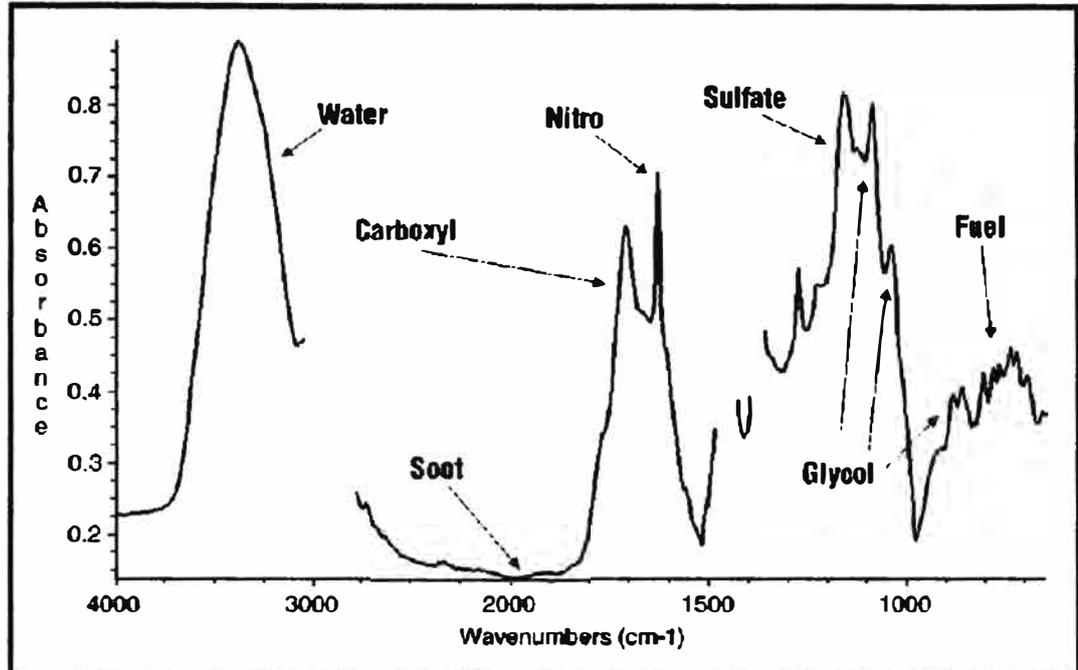
##### **B.1.4.3- Sulfatación.**

Un FTIR (Infrarrojo por Transformadas de Fourier) espectro es un gráfico de la intensidad de luz infrarroja que pasa a través de una muestra versus la longitud de onda de la luz. Se realiza un barrido del número de onda a la muestra entre 400 y 4000  $\text{cm}^{-1}$  Varios compuestos químicos absorben radiación infrarroja a una única frecuencia, y sobre limitados rangos de concentración. La cantidad de radiación absorbida es proporcional a la concentración de la especie absorbente, es entonces usada para identificar el tipo y concentración de varios componentes presente en el lubricante y de productos de oxidación formados en el mismo aceite.

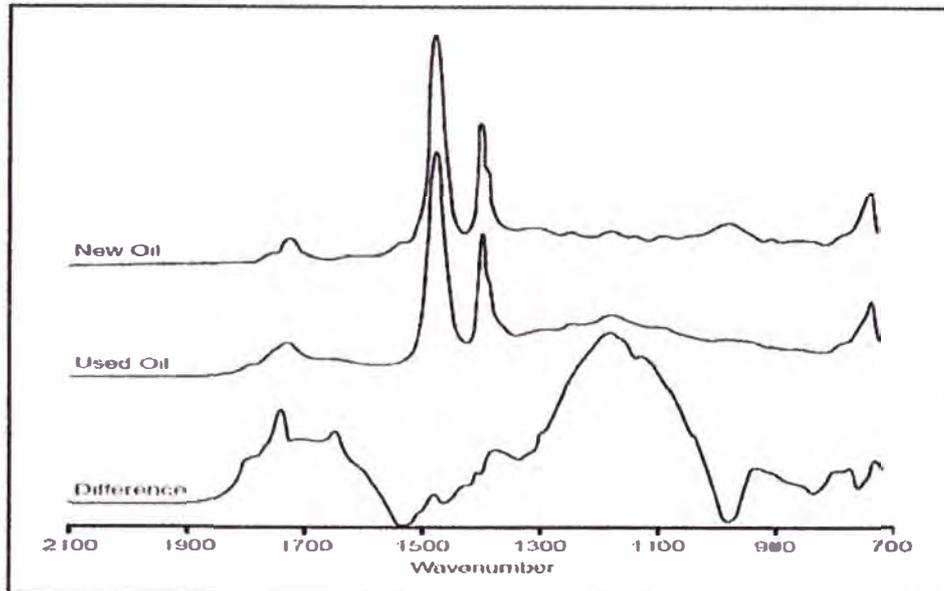
Se utiliza en programas de seguimiento del estado del aceite, proporcionado información acerca de la estabilidad a la oxidación de los lubricantes.

Mediante el seguimiento periódico del aceite se controlan características tales como aumento de la banda de compuestos de oxidación (C=O), como: ácidos, cetonas y aldehídos, como la de compuestos fenólicos, antioxidantes (OH), etc.

En la siguiente figura se muestra un espectro diferencial de un aceite usado donde se muestra los diferentes picos a sus números de onda respectivos.



La siguiente figura muestra el ploteo de dos espectros infrarrojos que han sido registrados usando el software "OMNIC Integra" de Nicolet. Para ello también se usó la celda de transmisión de flujo (de 0.1 mm de espesor). El espectro del medio corresponde a un típico aceite usado de motor. El espectro superior corresponde al mismo aceite pero sin uso. Este aceite nuevo es llamado el aceite de referencia. El espectro inferior corresponde al espectro de la diferencia entre el aceite usado y el aceite nuevo. Y es en este espectro diferencial donde se tomaran las medidas de los valores medidos en unidades de Absorbancia por 0.1 mm.



En la siguiente tabla se muestra los parámetros que se pueden medir con el análisis infrarrojo.

Parámetro Medido	Espectro (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de Medición	Medición Tradicional
Hollín (Soot)	2000	Tendencia a la formación de carbón.	Insolubles, Análisis termográfico.
Oxidación	1700	Tendencia de degradación del aceite.	TBN, TAN, Viscosidad
Nitración	1630	Tendencia de degradación del aceite de motor	TBN, TAN, Viscosidad
Sulfatación	1150	Tendencia de degradación del aceite de motor	TBN, TAN, Viscosidad
Agua	3400	Contaminación	Crackle Test, Karl Fisher
Diesel	800	Contaminación	Flash Point, Viscosidad, Cromatografía de gases
Gasolina	750	Contaminación	Flash Point, Viscosidad, Cromatografía de gases
Glicol	880	Contaminación	Colorimetría, Cromatografía de gases
Aditivo Antidesgaste	960	Deplección de aditivo	Espectrometría de Zinc

La siguiente tabla indica los parámetros medidos, sus unidades de medición y sus rangos de medición.

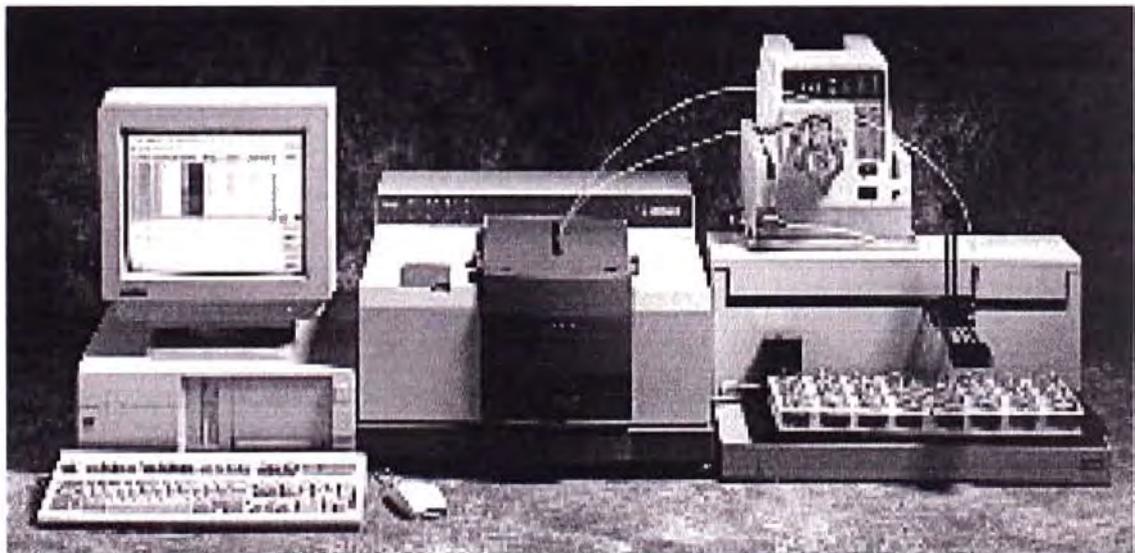
Parámetro Medido	Unidades	Limite de Detección	Resultado Típico	Resultado Típico Alto
Hollín (Soot)	ABS/0.1 mm	NA	0.22	0.72
Oxidación	ABS/0.1 mm	0.02	0.1	1
Nitración	ABS/0.1 mm	0.02	0.1	1
Sulfatación	ABS/0.1 mm	0.02	0.1	1
Agua	% Peso	0.1	NA	0.3
Diesel	% Peso	2	NA	6
Gasolina	% Peso	2	NA	6
Glicol	% Peso	0.1	NA	0.3
Aditivo Antidesgaste	ABS/0.1 mm	-0.02	-0.05	-1

Notas:

NA: No aplicable

Los valores del aditivo se muestran negativos ya que se trata de agotamiento (deplección)

La siguiente figura muestra un Sistema de Análisis Nicolet FT-IR de fase Líquida. Este equipo es manejado con el software OMNIC Integra del año 2002.



**B.1.7- RBOT, ensayo de oxidación inducida con bomba rotatoria. ASTM D-2272**

Este método utiliza un recipiente a presión con oxígeno para evaluar la estabilidad a presión con oxígeno para evaluar la estabilidad a la oxidación de aceites de turbina nuevos y usados teniendo la misma composición (aceite base y aditivos) en presencia de agua y cobre catalítico a 150°C. Esta prueba ha sido utilizada durante años para determinar la vida remanente de los aceites en servicio. Tiempos típicos de esta prueba son de 2 a 30 horas, aunque se han dado tiempos de hasta 45 horas. A parte de este problema del excesivo tiempo de análisis también se pueden producir caídas de tensión durante el ensayo.

**B.2- Contaminación de los fluidos. Contaminantes destructivos del fluido y de la maquinaria.**

**B.2.1- Análisis de humedad.**

**ASTM D95-99**

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA AGUA EN PRODUCTOS DE PETROLEO Y MATERIALES BITUMINOSOS POR DESTILACION**

**PROPOSITO:**

Este método cubre la determinación de agua en el rango de 0 a 25% volumen en los productos de petróleo, brea y otros materiales bituminosos por un método de destilación.

**RESUMEN DEL METODO:**

El material a ser muestreado es calentado bajo un reflujo con un solvente de agua inmisible, el cual va a co-destilar con el agua en la muestra. Los solventes condensados y el agua son continuamente separados en una trampa, el agua permanece en la sección graduada de la trampa y el solvente retornara a la destiladora.

**IMPORTANCIA Y USO:**

Un conocimiento del contenido de agua en los productos del petróleo es importante en la refinación, manejo, venta y transferencia de productos.

La cantidad de agua, como determinación de este método (al más cercano 0.05% en volumen) debe ser usada para corregir el volumen involucrado en la transferencia de productos de petróleo.

#### **LIQUIDO SOLVENTE PORTADOR:**

Debe ser usado un líquido solvente portador apropiado para el material a ser muestreado.

Solventes aromáticos: Los siguientes solventes aromáticos son aceptables:

Xileno grado industrial

Una mezcla de 20% volumen de Tolueno grado industrial y 80 % volumen de Xileno grado industrial.

Petróleo o nafta, libre de agua, produciendo no más de 5% de destilado a 125°C y no menos de 20% a 160°C y con una densidad relativa no menor que 0.8545 a 15.56/15.56°C.

Isooctano, de 95% de pureza o mejor.

#### **APARATO:**

**GENERAL:** El aparato contiene un destilador de metal o de vidrio, un calentador, un condensador a reflujo y una trampa de vidrio graduado.

El destilador, la trampa y el condensador deben ser conectados por cualquier método que produzca una unión a prueba de escapes. Los destiladores y las trampas deberán ser escogidas para cubrir el rango de los materiales y los contenidos de agua esperada. Tratar de evitar que las uniones se congelen o se peguen.

**DESTILADOR:** Deberá usarse un recipiente de vidrio o de metal con un pequeño cuello y una unión para acomodar el tubo de reflujo de la trampa. Serán usados recipientes de 500, 1000, 2000 ml de capacidad

**CALENTADOR:** Deberá ser usado un gas quemador o un calentador eléctrico con el destilador de vidrio. Un anillo de gas quemador deberá ser usado con el destilador de metal.

**PROCEDIMIENTO:**

Medir una cantidad moderada de muestra con una exactitud de +/-1% y transferirlo al destilador.

Medir las muestras del líquido ordinario en una probeta graduada de un tamaño apropiado. Enjuagar el material que está adherido al cilindro con una porción de 50ml y otras dos de 25 ml de solvente drenar el cilindro completamente después de la transferencia de la muestra y después de cada enjuague.

Pesar los sólidos o materiales viscosos directamente dentro del destilador y adherir 100 ml de solvente. En caso de un material de bajo contenido de agua debe ser necesario un exceso de solvente de 100ml.

Se deberán añadir esferas de vidrio, para evitar la ebullición brusca.

El tubo de condensador y la trampa deben estar químicamente limpios para asegurar un correcto drenaje del agua al fondo de la trampa

Aplicar calor de tal manera que la relación de gotas condensadas debe ser de 2 a 5 gotas por segundo; continuar la destilación hasta que el agua ya no sea visible y que el volumen de agua en la trampa sea constante por lo menos durante 5 minutos. Si existe un anillo de agua en el condensador debemos cortar el agua del condensador por unos minutos.

Cuando la extracción de agua es completa, dejar enfriar los materiales de vidrio. Si es que existen gotas de agua en las paredes de la trampa, tratar de llevarlas hasta la capa de agua mediante el uso de una varilla de vidrio o de (PTFE: politetrafluoroetileno), y debemos leer el volumen de agua en la trampa a la división de escala más cercana.

**CALCULOS:**

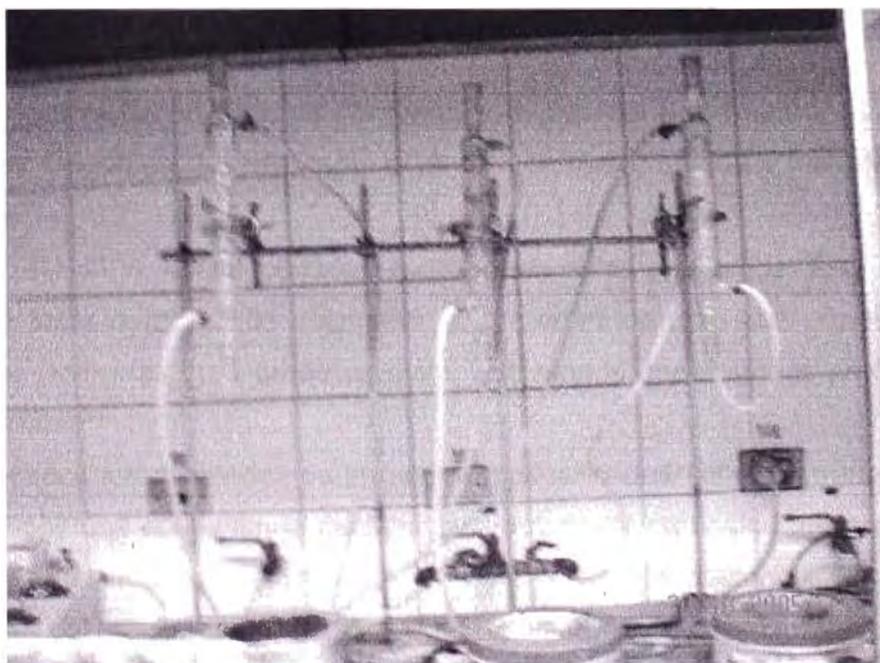
Se calcula el agua en la muestra como peso o como porcentaje en volumen, de acuerdo con las bases con que se tomo la muestra de la manera siguiente:

$$\text{Agua, \% (V/V) =} \\ \frac{(\text{Vol. de agua en la trampa, ml} - \text{Vol. de solvente blanco, ml}) * 100}{\text{Volumen de la muestra de prueba, ml}} \dots(1)$$

$$\text{Agua, \% (V/m) =} \\ \frac{(\text{Vol. de agua en la trampa, ml} - \text{Vol. de solvente blanco, ml}) * 100}{\text{Peso de la muestra, g}} \dots(2)$$

#### REPORTE:

Reportar los resultados como contenido de agua al más cercano 0.05% si el recipiente de 2ml ha sido usado; y el 0.1% si el recipiente es de 10ml o 25ml con una muestra es de 100ml o 100 gramos.



## **B.2.2- Conteo de partículas. ISO 4406-99**

### **La nueva Norma ISO 11171**

#### **Análisis Automático de Partículas**

Esta técnica de análisis, aplicada a análisis de aceites usados, permite determinar la presencia de partículas en una muestra líquida de aceite lubricante o fluido hidráulico.

Las partículas encontradas pueden corresponder a partículas de desgaste o partículas contaminantes. Conocer la presencia de estas partículas permite mantener un control proactivo sobre estas y el proceso anormal que las genera.

El método utiliza un Contador Automático de Partículas, óptico o láser.

Este instrumento proyecta la imagen de las partículas, como una sombra de un rayo de luz o láser, sobre una foto celda, al interponerse ésta al rayo de luz. La interposición se logra cada que pasa una partícula, contenida en la muestra líquida, con un flujo controlado, perpendicularmente al rayo de luz.

Con este instrumento se obtiene la concentración de partículas contenidas en la muestra y la distribución de tamaños por rangos pre-establecidos. Históricamente se han usado los rangos de 2-5 micrones, 5-15, 15-25, 25-50, 50-100 y mayores que 100 micrones.

Otra norma, ISO 4406, establece como se informan estos resultados. Esta norma contiene una tabla con códigos asignados a diferentes rangos, que representan cantidades de partículas en 1 ml de muestra. Los rangos mencionados arriba son parte de esta tabla.

Una vez obtenidos los resultados de la medición, clasificados por estos rangos, se eligen los rangos que contienen la cantidad acumulada de partículas mayores que 6micrones y aquel que corresponda a las mayores que 14 micrones. Con esas cantidades se determinan los códigos de la Tabla ISO 4406 para cada rango acumulado y se informa como R6/R14. Posteriormente se acostumbró incluir el código R4, quedando el informe como R4/R6/R14.

### **B.2.3- Punto de inflamación.**

**ASTM D92-98A**

#### **METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA PUNTOS DE FLASHEO POR LA COPA ABIERTA CLEVELAND:**

##### **PROPOSITO:**

Este método describe la determinación del punto de flasheo y del punto de quemado de los productos de petróleo por un aparato manual o automatizado (copa abierta cleveland).

Este método es aplicable a todos los productos de petróleo con puntos de flasheo por encima de 79°C(175°F) y debajo de 400°C(725°F) excepto los combustibles.

##### **RESUMEN DEL METODO:**

Aproximadamente 70 ml del espécimen de prueba deben ser llenados en la copa de prueba. La temperatura del test de espécimen es incrementada rápidamente al principio y luego en una proporción constante más lenta hasta que el punto de flasheo sea aproximadamente alcanzado.

A intervalos específicos, una llama de prueba es pasada a través de la copa. El punto de flasheo es la más baja temperatura del líquido a la cual la aplicación de la flama de prueba causa que los vapores del espécimen de prueba parece encenderse.

##### **IMPORTANCIA Y USO:**

El punto de flasheo es una medida de la tendencia del espécimen de prueba a formar una mezcla inflamable con aire debajo de las condiciones de control de laboratorio. Es solo uno de un gran numero de propiedades que deben ser considerados en valorar el peligro de inflamabilidad del material.

El punto de flasheo es usado en regulaciones de seguridad para definir materiales inflamables o combustibles

##### **APARATOS:**

**COPA ABIERTA CLEVELAND (MANUAL).** - Este aparato consiste en una copa de ensayo, un plato calentador, un aplicador de flama de ensayo, calentador, y soportes.

**DISPOSITIVO DE MEDICION DE TEMPERATURA.**- debe ser un termómetro que tenga un rango de temperatura de  $-6$  a  $+400$  °C .También puede ser usado un dispositivo de medida de temperatura electrónica, como por ejemplo una termocupla.

**RANGO DE TEMPERATURA**

- 6° hasta + 400°C

**N° TERMOMETRO ASTM**

11C, 28C

**FLAMA DE PRUEBA.**- Las flamas de gas natural (metano) y gas embotellado (butano y propano) son aceptados para el uso de la fuente de encendido.

**REACTIVOS Y MATERIALES:**

**SOLVENTES DE LIMPIEZA.**- Usar solventes de grado técnico suave con la capacidad de limpiar el espécimen de prueba de la copa de ensayo y capacidad de secado de la copa. Los más comunes son tolueno y cetona.

**PROCEDIMIENTO:**

Llenar la copa de prueba con la muestra de manera que el tope del menisco del espécimen de muestra este exactamente en la marca del llenado y colocar la copa en el centro del calentador. La temperatura no debe exceder de  $56^{\circ}\text{C}$  debajo del punto de flasheo esperado. Destruir cualquier clase de burbuja que se forme en la superficie con la ayuda de una cuchilla para mantener el nivel ideal. Si una espuma persiste durante el final de la operación, terminar la prueba y pasar por alto cualquier resultado.

Los materiales sólidos no deben ser adheridos a la copa de muestra, los materiales sólidos y las muestras viscosas deben ser calentados hasta que sean fluidos. Sin

embargo la temperatura de la muestra durante el calentamiento no debe exceder 56°C (100°F) debajo del punto de flash esperado.

Graduar la flama de prueba y ajustar a un diámetro de 3.2 a 4.8 mm (1/8 a 3/16 pulgadas).

Aumente la temperatura en un incremento de 14 a 17°C por minuto (25 a 30° F/min) hasta que la prueba alcance 56°C debajo del punto de flasheo esperado; y posteriormente se debe bajar la temperatura para que en los últimos 28°C antes de llegar al punto de flasheo esperado tenga una relación de 5 a 6°C/min.

Aplicar la flama de prueba cuando la temperatura de la prueba sea aproximadamente 28°C antes del punto de flasheo esperado y cada vez que la lectura de temperatura sea múltiplo de 2°C. Pasar la flama a través del centro de la copa de prueba. Continuar pasando la flama en línea directa o a lo largo de una circunferencia teniendo un radio de 150 +/- 1 mm. El tiempo aproximado en pasar la flama de prueba es de 1 +/-0.1 segundos.

Durante los últimos 28°C aumentados en la temperatura previa al punto de flasheo esperado, se debe tener mucho cuidado para evitar que los vapores se alteren por los movimientos rápidos cerca de la copa.

Para determinar el punto de fuego continuar calentando la temperatura de prueba después de haber grabado el flash point, con el incremento de 5 a 6°C/min. Continuar la aplicación de la flama cada 2°C hasta que la sustancia se queme por lo menos 5 segundos. Grabar la temperatura de la muestra.

#### **CALCULOS:**

Observar y grabar la presión barométrica del ambiente a la hora de la prueba. Cuando la presión difiera del valor de 101.3kpa, debemos corregir los puntos de flasheo y el punto de quemado, de la manera siguiente:

$$\text{Punto de flasheo corregido} = C + 0.25 (101.3 - K)$$

$$\text{Punto de flasheo corregido} = F + 0.06 (760 - P)$$

Punto de flasheo corregido =  $C + 0.033(760 - P)$

Donde:

C= Punto de flasheo observado(°C)

F= Punto de flasheo observado(°F)

P= Presión barométrica(mmHg) en el laboratorio de ensayo.

K= Presión barométrica(kpa)

La presión barométrica usada en esta corrección es la presión ambiental en el laboratorio a la hora de la prueba.

Usando el correcto flash point y fire point, redondear los valores al grado más cercano 1°C o 2°F y grabarlo.

#### **REPORTE:**

Reportar el valor correcto del flash point, usando el método D92 de la copa abierta cleveland.

**B.2.4- Dilución por combustible. Ver B.1.4**

**B.2.5- Contaminación con glicol. Ver B.1.4**

**B.2.6- Soot (Hollín). Ver B.1.4**

**B.3- Partículas de desgaste. Presencia e identificación de partículas de desgaste.**

**B.3.1- Análisis de metales de desgaste por espectrofotometría. S/N**

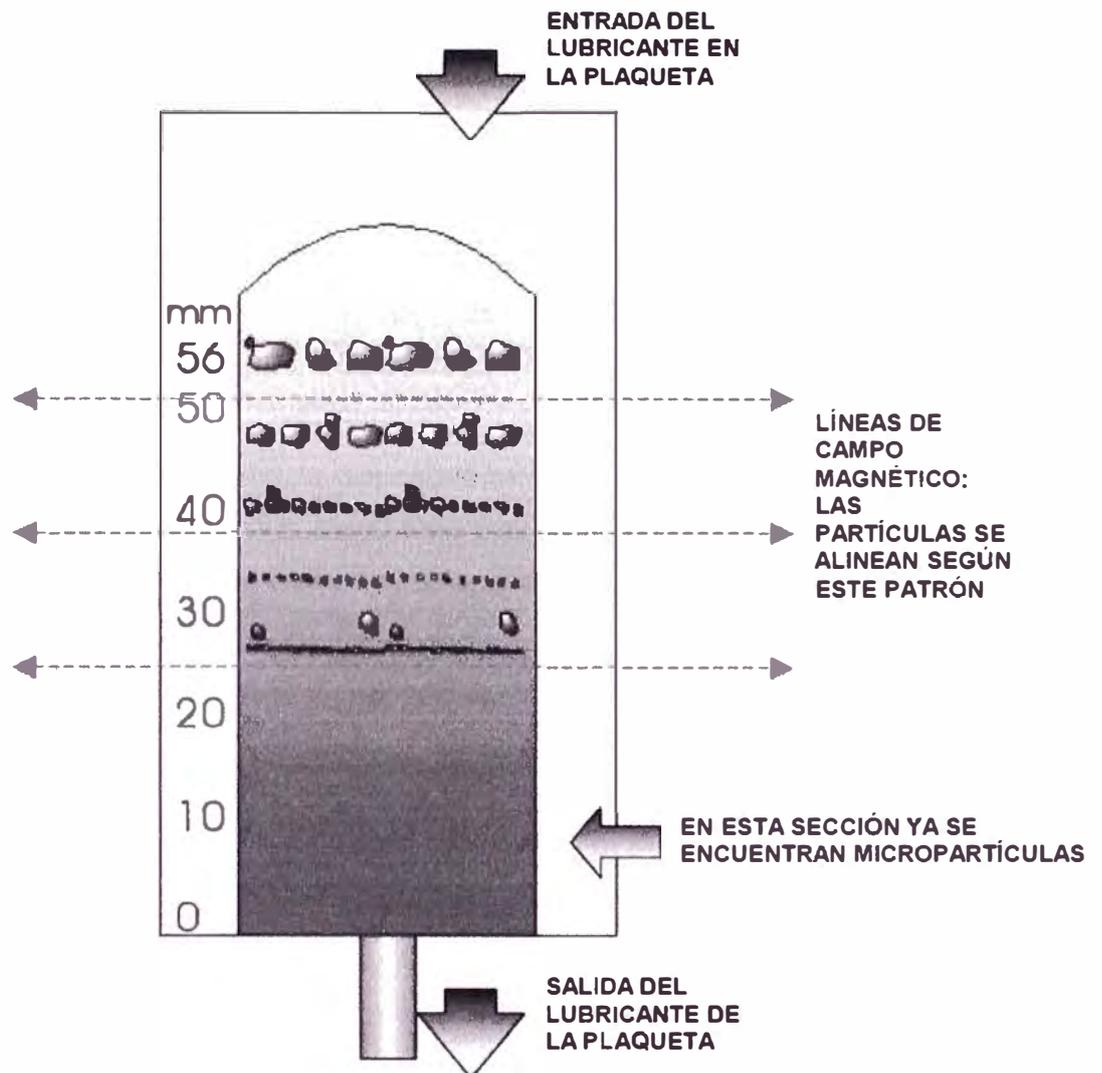


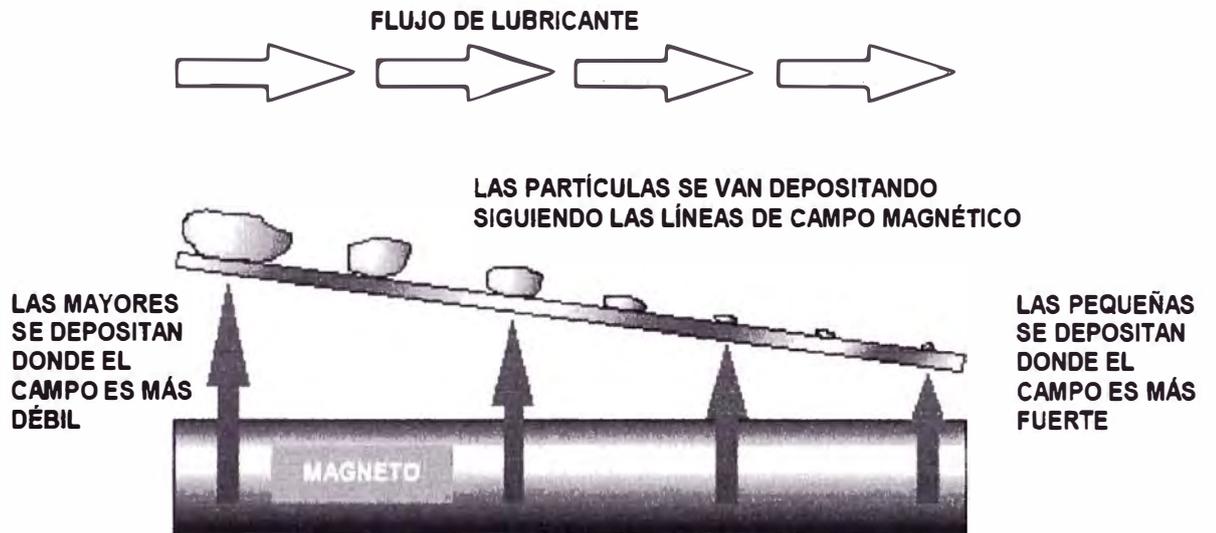
### **B.3.2- Ferrografía analítica.**

La Ferrografía Analítica permite que las partículas del desgaste sean observadas por el analista vía análisis microscópico. En esta evaluación, el desgaste activo de la máquina tan bien como diversos modos del desgaste pueden ser determinados. Este método tiene una sensibilidad excepcional para partículas más grandes.

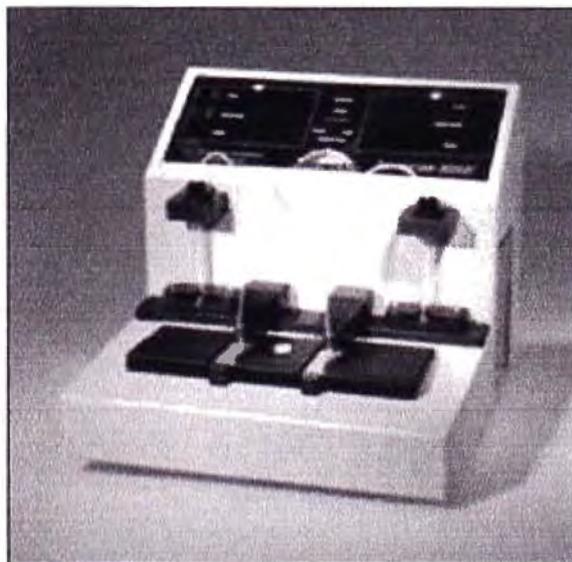
Durante el proceso de la preparación de la diapositiva (el ferrograma), la muestra es derramada sobre una diapositiva puesta en un ángulo fijo sobre una fuente magnética. Mientras que la muestra fluye, las partículas ferrosas se arreglan sobre la diapositiva en un patrón dado relacionado con el tamaño de las partículas. Las partículas más grandes permanecen en el punto de entrada de la diapositiva

mientras que las pequeñas, las partículas submicrónicas se depositan en el extremo de la salida de la diapositiva.





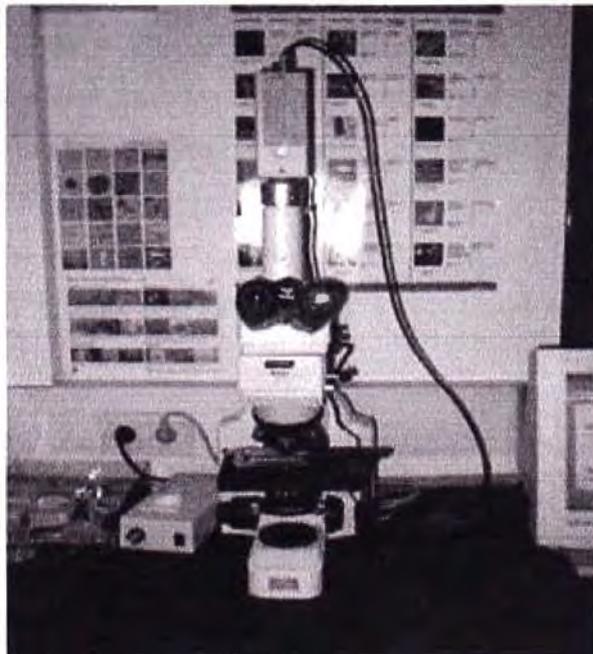
Una vez que está seca, la diapositiva se pone en un microscopio de alta potencia para la evaluación del analista. Esta evaluación permite más para la identificación de la partícula (que califica el desgaste) que para determinar la cantidad de desgaste (cuantificación). Sin embargo, es relativamente fácil observar si un ferrograma contiene más partículas de desgaste que lo que se encuentra típicamente en un tipo específico de componente.



Aunque este método es parcial al desgaste ferroso debido a la captura magnética de partículas, la identificación de un poco de desgaste no ferroso es posible. Esto ocurrirá típicamente cuando las partículas no ferrosas son grandes y caen del aceite mientras que pasan sobre la diapositiva, o cuando las partículas no ferrosas son atrapadas por las partículas ferrosas ya asentadas y mantenidas en el lugar vía el campo magnético.

La ferrografía analítica requiere una extensa capacitación del analista para interpretar correctamente los resultados. La evaluación de un ferrograma puede diferir entre diferentes analistas debido a la subjetividad del análisis. El nivel de entrenamiento y de experiencia también afectará la exactitud de la evaluación ferrográfica.

Varias técnicas se emplean durante análisis del ferrograma que hacen este nivel de la examinación lejos del nivel de entrada. Algunas de estas técnicas incluyen tratamiento al calor de los ferrogramas, tan bien como microscopia química. Una comprensión completa de los efectos de estas técnicas se requiere para utilizar completamente las herramientas disponibles.



El coste total de la ferrografía analítica la hace prohibitiva para utilizar como prueba rutinaria. El alto coste es debido a la carencia de la automatización y de la cantidad de tiempo que toma para realizar la preparación del ferrograma y de su examinación posterior. Para que una sola muestra reciba este análisis, podría llevar a partir 25 a 45 minutos del comienzo el final. Esto está además del resto de las pruebas que deben ser realizadas.

### **B.3.3- Análisis de Densidad Ferrosa.**

La ferrografía de lectura directa comprende la cuantificación de partículas ferrosas en dos categorías distintas, menores de 5  $\mu\text{m}$  en tamaño y las mayores de 5  $\mu\text{m}$ . El análisis de la tendencia de los resultados de la ferrografía directa es una buena pista para que el analista detecte desgastes anormales.

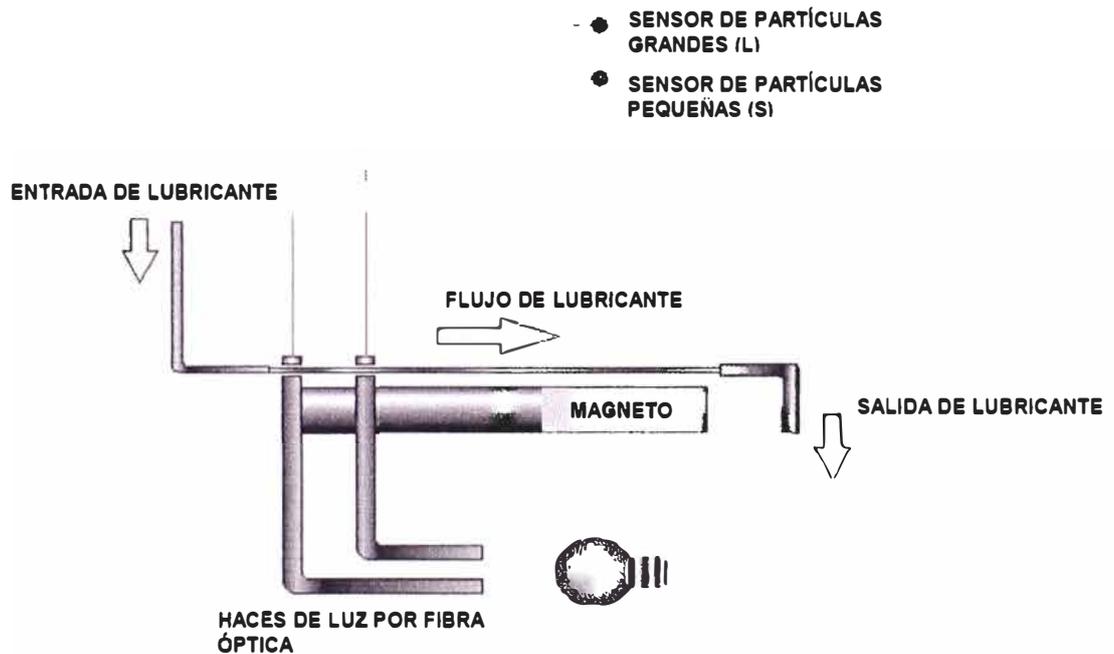
La Ferrografía de Lectura (DR) mide la cantidad de partículas de desgaste ferroso en una muestra del aceite. Los resultados de la Ferrografía de Lectura Directa (DR) se dan generalmente en términos de DL para partículas mayores de 5  $\mu\text{m}$  y de DS para las partículas menores de 5  $\mu\text{m}$  de tamaño. La ferrografía DR trabaja corriendo la muestra a través de un tubo precipitador y sobre un imán de alta potencia. Las partículas más grandes se atraen más rápidamente al imán, permitiendo que recolecten en un extremo mientras que las partículas más pequeñas recolectan sobre el extremo de la salida. Una luz entonces se transmite a través de la muestra. Los fotodetectores miden la cantidad de luz que pasa a través de la muestra, de tal modo dando por resultado los valores de DL y del DS.

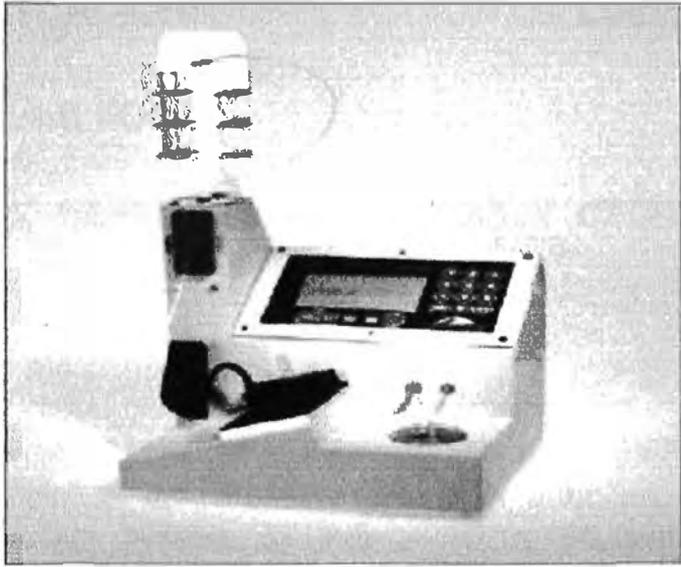
Por lo general más de 20,000 partículas mayores de 5  $\mu\text{m}$  indican una alerta de seguimiento y más de 40,000 son excesivas e indican problemas de desgaste en componentes ferrosos de la máquina.

Una ventaja de la ferrografía DR es la información que se puede derivar de estos resultados. Como valor de índice, las ecuaciones simples se pueden aplicar para encontrar la concentración total de partículas de desgaste Wear Particle

Concentration (WPC) siendo el WPC la suma DL+DS. Y el porcentaje de las partículas grandes "Percent Large Particles" (PLP).

La ejecución de la ferrografía DR requiere el uso de productos químicos peligrosos, de diluciones precisas y de flujos exactos sobre el imán para obtener resultados de calidad y representativos. Mientras que los operadores de los instrumentos de DR están bien entrenados y entienden la importancia de la apropiada prueba y análisis de la muestra, todavía hay una posibilidad del error de operador dada la cantidad de variables y de manipuleo de muestras que están implicadas.





## **ANEXO C**

### **ESTADO SITUACIONAL INSPECCION EN LUBRICACION**

#### **1. ANALISIS FODA**

##### **FORTALEZAS, DEBILIDADES, AMENAZAS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA**

###### **1.1 Fortalezas**

- Predisposición de la Gerencia para elevar los estándares de desempeño en la gestión de **Lubricación**.
- Actitud positiva de trabajadores y de los líderes (Ing. Residente, Jefe de Taller, Responsables de sección, asistentes, supervisores) para mejorar la gestión en materia de lubricación.
- Pomispa cuenta con un moderno Laboratorio de Análisis de Aceites lubricantes, con la cual no cuentan las compañías de la competencia en mina Comarsa.
- Compañías de la competencia en mina Comarsa no tienen ingenieros capacitados para emprender Programas de Control de la Contaminación y de Lubricación.
- La empresa cuenta con personal con experiencia en operaciones mineras.

###### **1.2 Debilidades**

- La gestión en lubricación no se lleva de forma sistematizada, ni estructurada, se lleva en función al sentido común, si bien la funcionalidad de este modo es relativa, la aplicación de nuevos conceptos puede ocasionar un notable beneficio.
- Falta de vehículo de apoyo para las actividades de muestreo de lubricantes. El personal que toma la muestra cumple parcialmente con el programa por que no puede movilizarse hacia los puntos y equipos programados para muestreo.
- Personal que toma muestras tiene deficiencias de herramientas (llaves) necesarias para un adecuado muestreo.
- Los frascos de muestreo nuevos están propensos a la contaminación por no guardarse en un ambiente adecuado.
- No existe un Sistema de Gestión en Lubricación.

- No se cuenta con Manual de Procedimientos (Mejores Prácticas) en Lubricación.
- Falta de orden y limpieza en las diferentes secciones.
- Personal tiene escaso conocimiento en prácticas sobre el control de la contaminación.
- Reducido nivel de una matriz de capacitación en lubricación y mantenimiento debidamente estructurada y sistematizada según las competencias del personal.
- En el proceso de inspecciones se reportan problemas tanto de lubricación como de mantenimiento pero no se ejecutan a tiempo los correctivos.
- No se cuenta con un equipo de inspectores, auditores debidamente acreditados en la gestión del Plan de Lubricación.
- Desconocimiento de la frecuencia de accidentes ambientales como derrames, contaminación de las aguas con lubricantes, etc.
- No existe una escala salarial en función a las habilidades y conocimientos del personal de mantenimiento, esto genera que personal con alta experiencia abandone la operación por mejoras económicas en otras empresas,
- Insuficiente tiempo disponible para una adecuado MP2000 en los cuales deberían limpiarse los recipientes con lubricantes. Se prioriza la producción en desmedro de un adecuado mantenimiento.

### **1.3 Amenazas**

- La producción se antepone al mantenimiento. No hay un balance adecuado entre Mantenimiento y Operaciones, muchas veces se sigue operando equipos con evidentes síntomas de falla en desmedro de su condición.
- Continuar con el desfase entre las bajas prácticas de lubricación y control de la contaminación con las buenas prácticas en análisis de aceites.
- Falta de estándares de lubricación para las tareas críticas.
- Supervisores que no tienen conocimiento adecuado del significado e importancia de un plan de Lubricación.
- Existencia de un pensamiento colectivo de que entrar a trabajar en Pomispa significa aprender y luego emigrar a otros lugares.

### **1.4 Oportunidades de Mejora**

- Aumentar el nivel de las categorías de involucramiento, compromiso, liderazgo y responsabilidad en los representantes

del equipo gerencial de POMISPA, para con la gestión de lubricación.

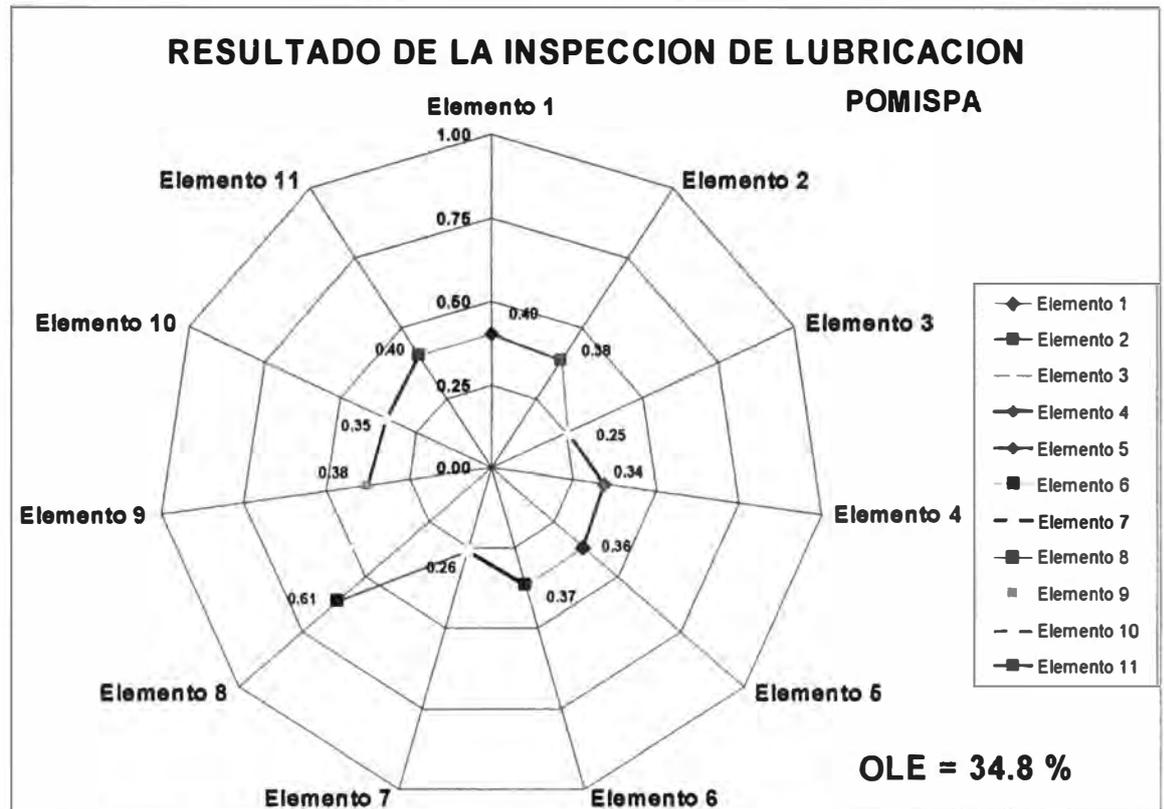
- Iniciar proceso de cambio en la gestión de lubricación con enfoque sistematizado y estructurado acorde a Mejores Prácticas Mundiales.
- Ejecución de la matriz de capacitación de manera sistémica para los trabajadores y gerentes.
- Generación de un Plan de Lubricación como apoyo a la gestión del Mantenimiento.
- Desarrollo y preparación de los estándares en Mejores Prácticas de Lubricación, para los trabajos involucrados en la lubricación.
- Elaboración del Manual de la Lubricación.
- Implementar de manera efectiva el Programa de Control de la Contaminación.
- Completar las Ordenes de Trabajo en mina.
- Reporte e investigación de incidentes / accidentes ambientales involucradas en la lubricación.
- Levantamiento de las observaciones más críticas hechas en el proceso.

## **2. CONCLUSION**

La empresa ha realizado una fuerte inversión de dinero implementando una de las más sofisticadas técnicas de mantenimiento predictivo como es el análisis de aceites lubricantes, esto para monitorear la condición y mejorar la confiabilidad de sus maquinarias. Esto ha sido innegablemente un notable y loable esfuerzo de los directivos y gerentes, pero lo que no se analizó en un principio era saber cuál era la cultura de mantenimiento en materia de lubricación, en control de la contaminación, en estándares y en procedimientos, en resumen era saber antes qué tan preparados estábamos para implementar un Programa de Análisis de Aceites.

A nivel mundial la lubricación es considerada la piedra angular de un efectivo programa de administración de activos enfocado en la confiabilidad, y un Programa de Lubricación que tiene el mismo enfoque está fundamentado en tres áreas claves como son: La prácticas de Lubricación, el Control de la Contaminación y el Análisis de Aceites.

Analizando los resultados de la inspección, como podemos ver en el siguiente gráfico de araña, la evaluación de la inspección en lubricación (diseñado como auditoría) muestra que el elemento con mejor calificación es el Programa de Análisis de Aceites Lubricantes (61%) y los elementos con los más bajos son: Los Estándares de Lubricación (25%) y el Control de la Contaminación (26%).



Esto quiere decir que existe un peligroso desfase entre las áreas clave para alcanzar una efectiva gestión en lubricación, necesitamos reducir esta brecha y cubrir los vacíos faltantes para lograr un mejor desempeño no solo en lubricación sino también en mantenimiento en general con lo cual podemos iniciar a reducir las incidencias de falla de nuestras maquinarias y a conservar mejor los activos de la compañía.

La medición realizada ha permitido determinar el desempeño en Lubricación por medio de la cuantificación del Indicador **OLE (Eficiencia Global de la Lubricación)**, logrando un nivel de **34.8 %**, lo que la sitúa en un regular desempeño en materia de lubricación.

Utilizando el Sistema de Calificación del Nivel de Desempeño 5 Estrellas:

INICIAL	0 - 0.25	☆
REGULAR	0.26 - 0.45	☆☆
BUENO	0.46 - 0.65	☆☆☆
MUY BUENO	0.66 - 0.85	☆☆☆☆
MEJOR PRACTICA MUNDIAL	0.86 - 1.00	☆☆☆☆☆

La Calificación Global se ubica en un nivel :



Considero que con la participación y compromiso de la Gerencia, del Jefe de Mantenimiento, Jefe de Taller, con los supervisores, mecánicos, operadores y demás involucrados, la organización puede llevar adelante el proceso de cambio sistematizado sugerido, a efectos de alcanzar en un futuro, mejores estándares de desempeño en la gestión en lubricación, que permitan avanzar de manera gradual y progresiva dentro de la clasificación mundial.



## ANEXO E

### FORMATO DE REGISTRO DE EQUIPOS

<b>Cliente:</b>		<b>Área:</b>	
<b>Tipo de Equipo:</b>		<b>Número Interno</b>	
<b>Marca:</b>		<b>Modelo:</b>	
<b>Horómetro inicial</b>		<b>Kilómetro inicial</b>	
<b>Localización</b>			

#### COMPONENTES DEL EQUIPO

	Check	Lubricante	Capacidad (lt)	Metalurgia	ID Number
<b>MOTOR</b>					
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>					
<b>TRANSMISIÓN</b>					
<b>DIFERENCIAL DELANTERO</b>					
<b>DIFERENCIAL POSTERIOR</b>					
<b>MANDO FINAL DERECHO</b>					
<b>MANDO FINAL IZQUIERDO</b>					
<b>MANDO DE ROTACION</b>					
<b>CONVERTIDOR</b>					
<b>CAJA</b>					

#### OTROS COMPONENTES:

	Check	Lubricante	Capacidad (lt)	Metalurgia	ID Number

**TIPO DE COMBUSTIBLE:** DIESEL 2  GASOLINA  GAS   
**OTRO** \_\_\_\_\_

**ACTUALIZADO POR:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** \_\_\_\_\_

**EQUIPO NUEVO**  **MODIFICAR**  **BORRAR**

**EQUIPO**