



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**GUÍA PARA EL CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE UN FLUIDO EN
LOS SISTEMAS OLEO-HIDRÁULICOS**

MANUEL LISANDRO FLORES ROLDÁN

Asesorado por Ing. Carlos Estuardo Caballeros García

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA EL CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE
UN FLUIDO EN LOS SISTEMAS OLEO-HIDRÁULICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MANUEL LISANDRO FLORES ROLDÁN

ASESORADO POR ING. CARLOS ESTUARDO CABALLEROS GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Farfán
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay
SECRETARIA	Ing. Pedro Aguilar

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA PARA EL CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE UN FLUIDO EN LOS SISTEMAS OLEO-HIDRÁULICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 1 de febrero de 2002.

Manuel Lisandro Flores Roldán

DEDICATORIA

A mi esposa	Maritza, mi gran amor, quien le pone rumbo y sentido a mi vida cada día y en cada momento con ese extraño efecto que ella causa en mi.
A mi madre	Yoli, el modelo de valor, fortaleza, ternura y alegría que siempre me recuerda que tenemos que aprovechar el tiempo para vivir porque su amor lo pone en todo lo que hace.
A mi padre	Manuel, mi amigo y maestro que con sabios consejos me ha empujado a ver siempre hacia adelante.
A mi hermanita	Claudia, amiga incondicional que siempre me ha regalado el orgullo de ser su hermano.
A mi sobrinita	Valeria, que desde su llegada ilumina mi vida con candor, curiosidad y alegría y ser causa de tema en mis conversaciones cada día.
A mis tíos y primos	Un grupo predilecto en mi vida que transmite lo que es vivir en armonía y unidad como familia.
A mis amigos	Seres que siempre llevo en mi corazón porque me han dado lo mejor, la amistad.
A la música	El lenguaje que se escucha con todos los sentidos por ser la voz del arte.
A Guatemala	Lugar que me enseña que la gente es lo que embellece a un país.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Santa Virgen María	Por el don de la vida y su presencia amorosa en cada momento de la vida.
A mi esposa	Por su amor y su apoyo incondicional.
A mis padres	Por el apoyo en mis estudios y cada una de mis decisiones.
A mis compañeros de estudio	Por ponerle buen sabor a la vida universitaria.
A mis catedráticos	Por el tiempo que dedican a cada uno de mis compañeros.
A la Facultad de Ingeniería	Por la invaluable enseñanza que reparte.
A la Universidad de San Carlos De Guatemala	Gloriosa casa de estudios.
A INDETA	Por el apoyo y aprendizaje que recibo todos los días.
Al Ing. Carlos Estuardo Caballeros	Por su apoyo al asesorar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. DEFINICIONES	1
1.1 Definición de un fluido	1
1.2 Viscosidad de un fluido. Efectos de la temperatura y presión	2
1.2.1 Efectos de la temperatura en la viscosidad	2
1.2.2 Efectos de la presión en la viscosidad	3
1.3 Aceites lubricantes	3
1.3.1 Propiedades de los aceites	4
1.3.2 Funciones de los aceites	5
1.3.3 Aditivos de los aceites	5
1.3.4 Clasificación de los aceites	7
2. CONTAMINACIÓN DE UN FLUIDO HIDRÁULICO	11
2.1 Fuentes contaminantes	11
2.2 Factores que causan daños en los equipos	12
2.3 Impacto de la contaminación de partículas en el desgaste	13

2.3.1 Desgaste abrasivo	13
2.3.2 Desgaste por fatiga	14
2.3.3 Desgaste adhesivo	15
2.4 Tamaño crítico de las partículas	16
2.5 Impacto de la contaminación de agua en el desgaste	18
3. SISTEMAS HIDRÁULICOS	21
3.1 Principios de operación	21
3.2 Funcionamiento de un sistema hidráulico	24
3.2.1 Sistemas de entrega fija	25
3.2.2 Sistemas de entrega variable	25
3.3 Ventajas de los sistemas hidráulicos	26
3.4 Partes de un sistema hidráulico	27
3.4.1 Tanque o depósito	27
3.4.2 Bombas	29
3.4.2.1 Bomba de aspas	30
3.4.2.2 Bomba de pistones	31
3.4.2.3 Bomba de engranajes	34
3.4.3 Válvulas	36
3.4.3.1 Válvulas grifo	37
3.4.3.2 Válvulas de globo	38
3.4.3.3 Válvulas de compuerta	38
3.4.3.4 Válvulas solenoide	39
3.4.3.5 Válvulas de aguja	40
3.4.3.6 Válvulas de retención	40
3.4.3.7 Válvulas de bola	41
3.4.3.8 Válvulas rotativas	42

3.4.4 Motores hidráulicos	42
3.4.4.1 Motor de pistón	43
3.4.4.2 Convertidor de torque	45
3.4.5 Componentes auxiliares	47
3.4.5.1 Enfriadores del fluido hidráulico	47
3.4.5.2 Filtros y coladores	48
3.4.5.3 Acumuladores	49
4. TRIBOLOGÍA	53
4.1 Definición de tribología	53
4.2 Desgaste	53
4.2.1 Grados de avance del desgaste	53
4.3 Mantenimiento correctivo	54
4.4 Mantenimiento preventivo	55
4.5 Mantenimiento predictivo	55
4.6 Mantenimiento proactivo	55
4.6.1 Monitoreo tribológico	57
4.6.1.1 Procedimiento	58
4.6.1.2 Métodos	59
4.6.1.3 Contaminantes internos	60
4.6.1.4 Contaminantes externos	60
4.6.1.5 Determinación de partículas contaminantes	61
4.6.1.6 Filtración	63
5. GUÍA PARA CONTROL DEL DESGASTE A TRAVÉS DEL MONITOREO DE CONTAMINACIÓN	65
5.1 Desarrollo del procedimiento	66

5.1.1 Aspecto No. 1: Identificación del nivel ISO 4406	69
5.1.2 Aspecto No. 2: Selección de filtros	71
5.1.3 Aspecto No. 3: Análisis de aceites	74
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	81
APÉNDICES	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Efectos de la temperatura en la viscosidad	2
2. Efectos de la presión en la viscosidad	3
3. Factores que causan fallas en las máquinas	12
4. Desgaste abrasivo	14
5. Desgaste por fatiga	15
6. Desgaste adhesivo	16
7. Principios de operación hidrostática	21,22
8. Principios de operación hidrodinámica	23
9. Componentes de un sistema hidráulico	24
10. Depósito de un sistema hidráulico	29
11. Bomba de aspas	30
12. Bomba de pistones radiales	32
13. Bomba de pistones axiales	33
14. Bomba de engranaje interno	35
15. Bomba de bifurcación	35
16. Válvula grifo	37
17. Válvula de globo	38
18. Válvula de compuerta	39
19. Válvula de aguja	40
20. Válvula de retención	41
21. Válvula de bola	41
22. Válvulas rotativas	42

23. Desplazamiento de potencia	43
24. Desplazamiento de retorno	44
25. Convertidor de torque	45
26. Enfriador	47
27. Filtro	49
28. Colador (<i>strainer</i>)	49
29. Acumulador recargado	50
30. Acumulador de aire comprimido	50
31. Etapas del monitoreo de contaminación	66
32. La central hidráulica	66
33. Tapón del depósito de aceite hidráulico	67
34. Extracción de la muestra de aceite	67
35. Muestra de aceite usado	68
36. Lectura de presión en una central hidráulica	68
37. Filtro	72
38. Línea de presión y línea de retorno	73
39. Ubicación de los filtros en un sistema hidráulico	74
40. Resultados de un análisis de aceite	76

TABLAS

I	Holguras dinámicas	17
II	Código ISO 4406 para niveles de limpieza de un fluido	70
III	Selección de filtros	72

LISTA DE SÍMBOLOS

a	área
β_x	valor de retención de partículas
cSt	<i>centistokes</i>
°C	grados centígrados
F	fuerza de desplazamiento
kg/cm²	kilogramo por centímetro cuadrado
P	presión
μm	micrones

GLOSARIO

Aceites minerales	Fabricados con bases lubricantes obtenidas directamente de la destilación del petróleo.
Aceites sintéticos	Fabricados con bases que provienen de transformaciones químicas complejas.
Análisis espectrográfico	Análisis de elementos metálicos asociados con el desgaste, contaminación del aceite lubricante y aditivos empleados en su formulación.
Conteo de partículas	Análisis que permite un control sobre la cantidad y tamaño de partículas sólidas que contaminan los flúidos hidráulicos.
Densidad	Es el peso de una sustancia por unidad de volumen.

Emulsión	Mezcla de un aceite con agua.
ISO	<i>(International Standard Organization)</i> Escala que mide la viscosidad de los aceites en centistokes a 40°C. Se aplica a los lubricantes industriales.
Lubricación	Ciencia que estudia los procedimientos para reducir la fricción entre dos superficies en movimiento.
Lubricante	Toda sustancia que sirve para reducir el rozamiento y fricción entre dos superficies en movimiento relativo.
SAE	Referencia de una escala de viscosidad que estableció la Sociedad de Ingenieros Automotrices (<i>Society of Automotive Engineers</i>) para todos los aceites lubricantes de uso en automoción. Los valores de viscosidad en grado SAE están medidos a 100°C. Si el valor es acompañado de la letra W, indica que ha sido medido por debajo de los 0°C.

RESUMEN

El control de limpieza para un fluido hidráulico es un programa amplio de control del desgaste que se recomienda para las actividades de mantenimiento y de operación que se relacionan con el desgaste ocasionado por contaminación.

El control de limpieza se enfoca, primero, en establecer los estándares de limpieza del fluido hidráulico para proteger a los componentes sensibles del sistema, de las partículas del tamaño de las holguras dinámicas. Por lo tanto, el control de limpieza define cómo aplicar la tecnología de filtración para lograr los objetivos en el sistema, utilizando los análisis de aceite con el conocimiento científico y técnico adecuados para saber cómo interpretarlos y un monitoreo de los resultados.

Algunas de las variables que determinan la limpieza que se debe mantener en un sistema hidráulico, incluye:

- Condiciones del ingreso de contaminación
- Presión de operación en los ciclos de trabajo
- Tipo de fluido hidráulico
- Sensibilidad de los componentes
- Expectativas de vida de los componentes
- Costo de los componentes
- Costo de los tiempos muertos del equipo
- Seguridad
- Tecnología disponible de filtración

OBJETIVOS

General

Desarrollar una guía para implementar un programa de “control de contaminación” como una herramienta de mantenimiento para sistemas hidráulicos. Con esta información, el mantenimiento mecánico puede modernizar sus tareas al utilizar tecnología a su alcance.

Específicos

1. Informar a los responsables del mantenimiento mecánico sobre una nueva herramienta aplicable a los equipos que se encuentran en casi toda la industria.
2. Simplificar antiguos métodos para facilitar las tareas de mantenimiento.
3. Obtener un rendimiento y condiciones óptimas de funcionamiento de los sistemas hidráulicos.
4. Conocer detalladamente el importante significado de la presencia de partículas de desgaste contaminantes en los fluidos hidráulicos y las consecuencias .

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aceite tiene un efecto perjudicial para el funcionamiento y confiabilidad de los sistemas hidráulicos y lubricación de los metales en la industria.

En este documento de investigación se examina la naturaleza del desgaste mecánico causado por partículas contaminantes en los fluidos de sistemas hidráulicos y se introduce tanto el concepto del CONTROL DE CONTAMINACIÓN como la forma de combatirlo. Con la aplicación de esta guía se demuestra una ventaja bastante competitiva y superior sobre los métodos que prefieren ignorar el efecto del desgaste mecánico.

El control de contaminación se enfatiza en las especificaciones de limpieza del fluido, selección de filtros y análisis de aceite para obtener una guía que ayudará a reducir o prevenir el desgaste que es provocado por la contaminación en los fluidos hidráulicos.

Con los conocimientos y la herramienta necesaria para satisfacer cada uno de los pasos de la guía del control de contaminación, se pueden realizar otros trabajos de mantenimiento, reducir tiempos muertos del equipo de producción, o prevenir, incluso, el daño total de la maquinaria y equipo.

1. DEFINICIONES

1.1 Qué es un fluido

Los fluidos son sustancias capaces de “fluir” y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar esfuerzos de corte. A todos los fluidos se les puede comprimir en cierto grado y son resistentes a los cambios de forma.

Los fluidos se dividen en líquidos y gases.

Existe gran cantidad de diferencias entre los líquidos y los gases, pero las principales son:

- los líquidos se consideran incompresibles y los gases compresibles;
- los líquidos ocupan un volumen definido y los gases se expanden hasta llenar las partes del recipiente que lo contiene.

Dado que son los líquidos el punto que interesa tratar en este trabajo de investigación, se limitará a la explicación de éstos solamente.

La rama de la mecánica que estudia el comportamiento de los fluidos ya sea en reposo o en movimiento constituye la mecánica de los fluidos y la hidráulica. Existen algunas propiedades que caracterizan a los fluidos para conocer su campo de aplicación. En la estática de los fluidos, es el peso específico la propiedad importante, mientras que en el flujo de fluidos la densidad y la viscosidad son las que predominan.

1.2 Viscosidad de un fluido

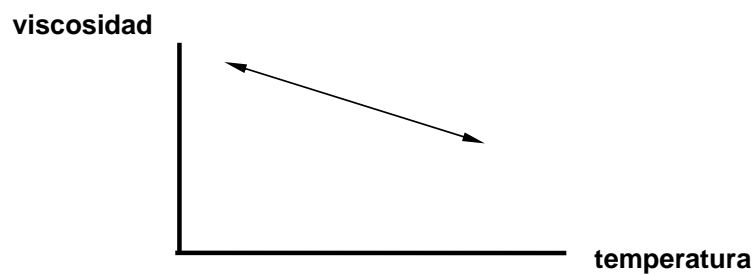
La viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. Es una medida de la fricción interna de un fluido, o sea la resistencia a la deformación.

La viscosidad se debe, principalmente, a las interacciones entre las moléculas del fluido.

1.2.1 Efectos de la temperatura en la viscosidad

No es posible estimar teóricamente las viscosidades para líquidos con exactitud. La viscosidad de los líquidos es afectada drásticamente por la temperatura, ya que un aumento de temperatura disminuye la viscosidad de éstos y un fuerte descenso de temperatura, la eleva.

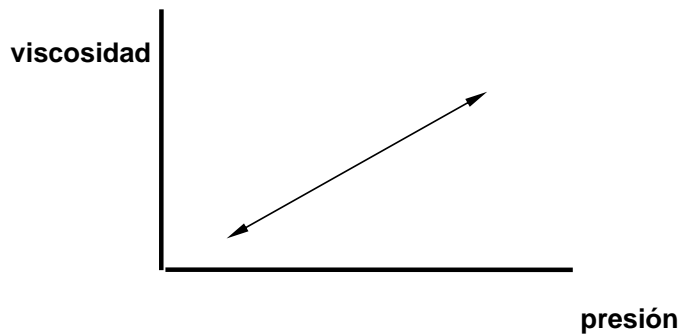
Figura 1 Efectos de la temperatura en la viscosidad



1.2.2 Efectos de la presión en la viscosidad

La viscosidad de la mayoría de los líquidos no son afectadas por cambios de presión moderados, pero se han encontrado grandes incrementos a presiones sumamente elevadas. Es decir, que la viscosidad de un líquido aumenta al aumentar la presión. Por ejemplo, la viscosidad del agua a una presión de 10,000 atm es el doble que a una presión de 1 atm. Los compuestos de mayor complejidad, muestran un aumento en la viscosidad, de varios niveles de magnitud sobre un intervalo de temperatura.

Figura 2 Efectos de la presión en la viscosidad



1.3 Aceites lubricantes

Los aceites lubricantes son líquidos minerales derivados del petróleo, que han sido sometidos a varios procesos de refinación.

Se procesan con el fin de obtener en ellos características físicas y químicas que son indispensables para el buen funcionamiento de maquinaria y equipos que cuentan con sistemas de lubricación y /o que requieren un fluido hidráulico apropiado al trabajo que realizan.

1.3.1 Propiedades de los aceites

Las propiedades más importantes de los aceites son la viscosidad, índice de viscosidad, punto de inflamación, punto de fluidez, demulsibilidad, oleosidad y estabilidad térmica.

- La viscosidad de un aceite es la propiedad más importante y se le puede definir como la medida de la resistencia que éste tiene a fluir.
- Algunos aceites experimentan grandes cambios de viscosidad con las variaciones de temperatura, mientras otros sólo sufren pequeñas variaciones. Por ello, para tener una medida del cambio de viscosidad se usa el índice de viscosidad. Por lo tanto, éste es parámetro indicador de la variación de viscosidad bajo la acción de cambios de temperatura.
- A la temperatura mínima en la cual un aceite produce llama se le conoce como punto de inflamación.
- El punto de fluidez, es el valor de la temperatura más baja a la que un aceite responde aún como líquido, sin que su viscosidad sea alterada.

- Los aceites no pueden mezclarse con el agua, a esta propiedad se le conoce como demulsibilidad. En algunas aplicaciones industriales, se utilizan aceites cuya demulsibilidad ha sido neutralizada para trabajar con emulsiones de gran magnitud.
- La oleosidad es una propiedad física de los aceites; necesaria para formar una película de lubricante resistente que se adhiera a todos los elementos móviles que requieren lubricación.
- Los aceites sufren de oxidación a medida que transcurre su tiempo de servicio. Normalmente éstos son sometidos a elevadas temperaturas de operación, lo cual contribuye a acelerar el proceso de oxidación. Sin embargo, la estabilidad térmica de un aceite determina la capacidad de éste para oponer resistencia a la acelerada oxidación, causada por los efectos de la temperatura.

1.3.2 Funciones de los aceites

Existe una gran cantidad de máquinas que requieren de una eficiente funcionalidad de los aceites para dar un buen rendimiento. Las principales funciones de los aceites son: reducción de fricción, transmisión de potencia, enfriar, dispersar y limpiar, formar sello, y controlar la oxidación.

1.3.3 Aditivos de los aceites

Los aditivos son sustancias químicas que se agregan a la composición de los aceites con el propósito de mejorar las propiedades de dichos aceites.

Los principales aditivos son: anti-desgaste, anti-oxidantes, anti-espumantes, detergentes-dispersantes, depresores del punto de fluidez, mejoradores del índice de viscosidad, extrema presión y emulsificantes.

- Los aditivos anti-desgaste son sustancias que se combinan con la película lubricante de los aceites para crear una capa envolvente sobre las superficies metálicas susceptibles al desgaste. Ésta capa actúa como material de contacto entre las superficies, sacrificándose, para evitar que las partes metálicas sufran el desgaste.
- Los aditivos anti-oxidantes ayudan a prevenir la oxidación de los elementos metálicos con los que tiene contacto directo el aceite.
- La mayoría de los equipos que utilizan aceites, como lubricante o fluido hidráulico, exigen al aceite caudales a gran velocidad, turbulencia, salpicaduras, etc. Todas estas rutinas de trabajo son oportunidades que el aceite tiene para absorber aire, lo cual es perjudicial para el rendimiento de las máquinas. Para evitar este fenómeno dañino, se utilizan aditivos anti-espumantes que reducen la formación de burbujas de aire que perjudican la resistencia al esfuerzo de corte de los aceites.

- Los aditivos detergentes-dispersantes son indispensables para mantener las superficies de los elementos de un sistema limpias y evitar el estancamiento de suciedad, sedimentos y partículas contaminantes en un solo lugar. Se encargan de la dispersión de la suciedad para evitar taponamientos e incrustaciones que provocarían mal funcionamiento del sistema y una mala lubricación.
- Cuando se arranca una máquina, es el momento en que la temperatura del aceite es mínima, y por lo tanto la viscosidad es alta.

Algunas máquinas operan en lugares fríos y se requiere que los aceites que utilizan sean capaces de fluir a temperaturas muy bajas. Para estos casos, es necesario que las bajas temperaturas no afecten la viscosidad del aceite y se usan los aditivos depresores del punto de fluidez.

- Los aditivos mejoradores del índice de viscosidad ayudan a los aceites a mantener su nivel de viscosidad, sin que sea seriamente alterada por los cambios de temperatura.
- Existen máquinas cuyos elementos lubricados deben soportar grandes cargas constantemente. Las grandes cargas provocan el aplastamiento de la película de aceite. Es entonces cuando se utilizan los aditivos de extrema presión para garantizar una película de lubricante continua, sin que sea cortada por las cargas a las que se encuentra sometida.
- En los trabajos de mecanizado de piezas metálicas, se utilizan refrigerantes que son productos de una mezcla de agua y aceite. Para ello, los aceites utilizados deben contener aditivos emulsificantes, ya que sin la ayuda de estos aditivos no sería posible una emulsión.

1.3.4 Clasificación de los aceites

Los aceites se clasifican de acuerdo a su grado de viscosidad. Existe una amplia gama de grados de viscosidad, los cuales son medidos por varias normalizaciones para este fin.

Estas normas son las que establecen los grados conocidos como SAE, ISO, SUS y AGMA. Solamente dos de estas nomenclaturas son utilizadas en la actualidad, y son:

- grados SAE y
- grados ISO

si son aceites automotrices, el grado se mide por las normas SAE, y si son aceites de aplicación industrial, se les denomina grados ISO.

Existe otra clasificación para los aceites, y es de acuerdo a su aplicación. Los sectores de aplicación que se toman son:

- sector automotriz y
- sector industrial.

Dentro del sector industrial destacan los aceites hidráulicos, los cuales también se subdividen de acuerdo a su grado de viscosidad y a sus propiedades:

- fluidos hidráulicos resistentes al fuego
- fluidos hidráulicos anti desgaste
- fluidos hidráulicos contra la herrumbre y oxidación

La base de fabricación de los aceites representa otro factor determinante para una sencilla clasificación de éstos. Por su base pueden ser:

- aceites minerales y
- aceites sintéticos.

No se debe confundir la clasificación de los aceites según su “grado de viscosidad” y según sus “aplicaciones”. Algunas veces se piensa que un aceite de alta viscosidad es también un aceite para servicios pesados, lo cual no es necesariamente cierto. La clasificación del aceite según la viscosidad, se refiere solamente al espesor del mismo, pero no es una medida de su capacidad de trabajo.

Es muy importante que el departamento de mantenimiento mecánico conozca todos los conceptos relacionados con los aceites lubricantes para tomar mejores decisiones en el desempeño de sus actividades.

2. CONTAMINACIÓN DE UN FLUIDO HIDRÁULICO

Las formas de contaminación que se presentan en el fluido hidráulico que no son controladas, inducen al desgaste y éste provoca la disminución de la vida de los componentes y equipo hidráulico. El Control de Contaminación se presenta como una estrategia completa para controlar el desgaste de los metales.

2.1 Fuentes de contaminantes

Existen cuatro fuentes principales de partículas contaminantes que se presentan en los fluidos de los sistemas hidráulicos:

1. **Contaminantes integrados.** Es el material con el que interactúa el fluido hidráulico: componentes mecánicos, fluidos, mangueras, depósitos, etc.
2. **Contaminantes generados.** Al ensamblar el sistema, manipulación violenta del sistema, operación del sistema, fallas del fluido.
3. **Contaminantes ingresados desde el exterior.** A través del respiradero del depósito, sellos de los cilindros, sellos de cojinetes.
4. **Contaminantes introducidos durante el mantenimiento.** Al separar y ensamblar componentes, suministrar el fluido hidráulico.

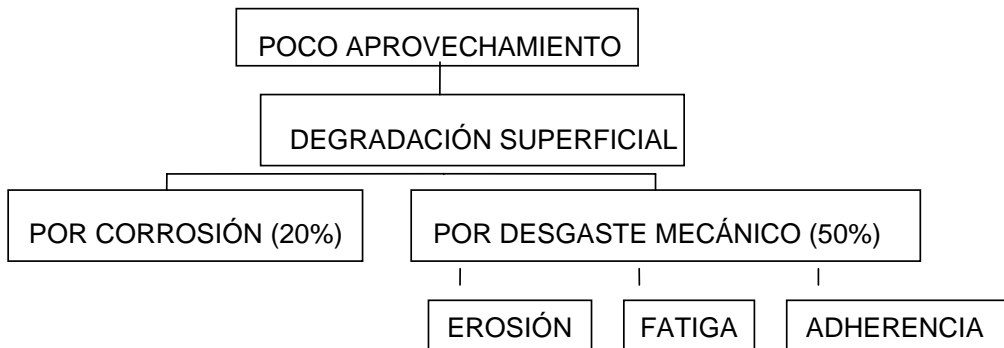
Una filtración efectiva y prácticas de mantenimiento cuidadosas disminuirán el ingreso de contaminantes provenientes de todas las fuentes de contaminación.

Sin embargo, el ingreso de los contaminantes externos es, regularmente, más difícil de controlar con un medio ambiente sucio. El mecánico debe considerar cuidadosamente los puntos donde se ubica un posible ingreso incontrolable de contaminantes para establecer objetivos de limpieza en el fluido, que se reflejarán en la reducción del desgaste mecánico.

2.2 Factores que causan daños en el equipo

En un estudio realizado por el Dr. E. Rabinowicz se investigó cuáles son las razones que ocasionan el reemplazo de componentes o el “**poco aprovechamiento**” en los sistemas hidráulicos. El estudio revela que el 50% de las fallas en todos los componentes que tienen contacto con el aceite son resultado del desgaste mecánico.

Figura 3 Factores que causan fallas en las máquinas



2.3 Impacto de la contaminación de partículas en el desgaste

Para poder entender la estrecha relación que existe entre la contaminación de partículas en el fluido y el desgaste mecánico, se examinarán cada uno de los mecanismos principales identificados por Rabinowicz (erosión, fatiga y adherencia) para establecer:

- Como la contaminación de partículas afecta a cada forma de desgaste.
- Que tamaño de partícula causa el mayor daño.
- Cuales son los componentes afectados.

2.3.1 Desgaste abrasivo

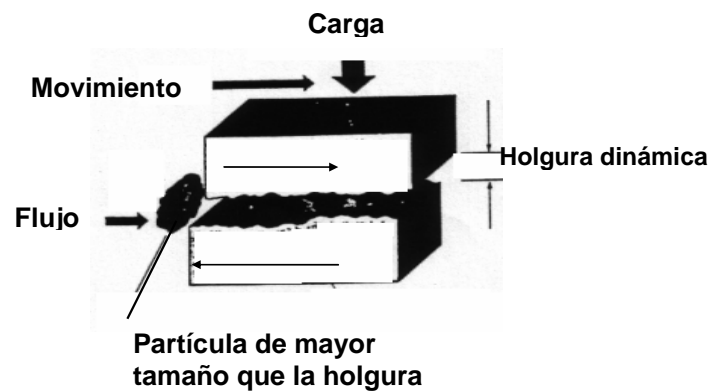
El desgaste abrasivo ocurre cuando las partículas son captadas entre dos superficies deslizantes que son lubricadas por una película de aceite. Las partículas sueltas (desgaste abrasivo de tres cuerpos) cortarán, rozarán y rasparán ambas superficies. En el desgaste abrasivo de dos cuerpos, las partículas descansan en una de las superficies y actúan como máquinas herramienta en miniatura, arrancando material de la superficie opuesta.

En el desgaste abrasivo, las partículas que causan el mayor daño son las de igual tamaño o un poco mayores que el espesor de la película dinámica de los componentes. Las partículas de menor tamaño simplemente pasarán a través de éstos, causando pocos daños. Las partículas de mayor tamaño no causan desgaste abrasivo hasta que recirculan y se destrozán originando numerosas partículas que por su menor tamaño causan desgaste.

Los componentes hidráulicos que se ven afectados por el desgaste abrasivo incluyen las bombas, motores, válvulas y cilindros.

Las superficies de los rodamientos con contacto deslizante también están propensas al desgaste abrasivo; éste incluye los anillos y las jaulas de los rodamientos.

Figura 4 Desgaste abrasivo



2.3.2 Desgaste por fatiga

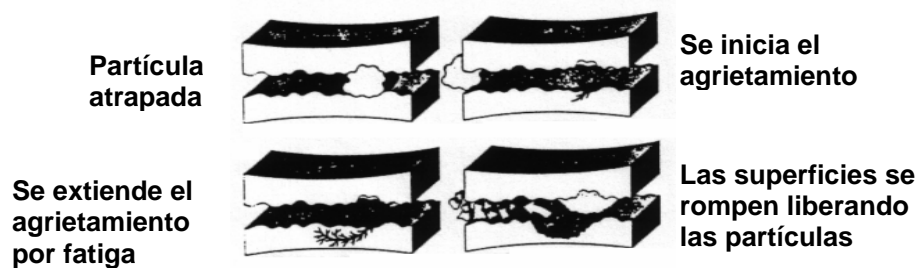
El desgaste por fatiga de las superficies de contacto rodante se inicia cuando las partículas duras y de mayor tamaño que el espesor de la película dinámica de lubricante, penetran en la zona de carga de los rodamientos. Éstas partículas saltan momentáneamente la abertura de la película lubricante y crean pequeñas abolladuras y microgrietas en las superficies rodantes.

Bajo repeticiones de cargas, las microgrietas crecen hasta que debilitan la superficie, causando eventualmente derrumbamiento y fallas por fatiga.

Como en el desgaste abrasivo, las partículas que causan el mayor desgaste por esfuerzo de fatiga sobre la superficie son las de igual tamaño o un poco mayores que el espesor de la película dinámica de lubricante.

El desgaste por fatiga ocurre principalmente en las superficies de movimiento alternativo y en los cojinetes antifricción. La superficie de los dientes de los engranajes también experimentan desgaste por fatiga.

Figura 5 Desgaste por fatiga



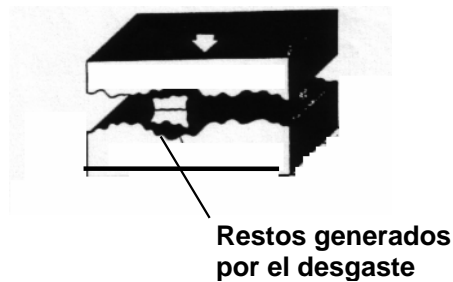
2.3.3 Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo es por el contacto de metal con metal entre dos superficies en movimiento. Las partículas contribuyen al desgaste adhesivo cuando éstas ocasionan muescas y agrietan las superficies a través de el desgaste abrasivo y por fatiga, formando asperezas en la superficie que se extienden más allá del nivel nominal de la superficie del componente.

Si son lo suficientemente altas, las asperezas de las superficies opuestas pueden penetrar en el espesor de la película de aceite y colisionar una contra la otra, “soldarse en frío” entre ellas y arrancarse partículas mientras las superficies están en movimiento. El desgaste adhesivo es más evidente durante las fallas catastróficas de los componentes cuando las superficies se detienen, soldándose entre ellas mismas.

La contaminación en forma de lodo también puede conducir al desgaste adhesivo al tapar las líneas de alimentación de aceite y orificios, reduciendo el caudal de lubricante que debe llegar a los componentes hidráulicos. Un flujo inadecuado del aceite ocasionará un incremento excesivo de calor y se reducirá la viscosidad del aceite lubricante, dando como resultado el contacto de metal con metal.

Figura 6 Desgaste adhesivo



2.4 Tamaño crítico de las partículas

Para el control efectivo del desgaste por la erosión, la fatiga y la adherencia, es necesario minimizar el número de partículas de igual tamaño o mayores que el espacio entre los componentes de operación (holgura) del sistema.

En la siguiente tabla se resumen las holguras de operación de la mayoría de los componentes de los sistemas hidráulicos. Basados en estos valores para las holguras, el tamaño crítico de las partículas que se debe controlar es de 1 a 5 micrones para lograr una vida útil máxima de los componentes del sistema.

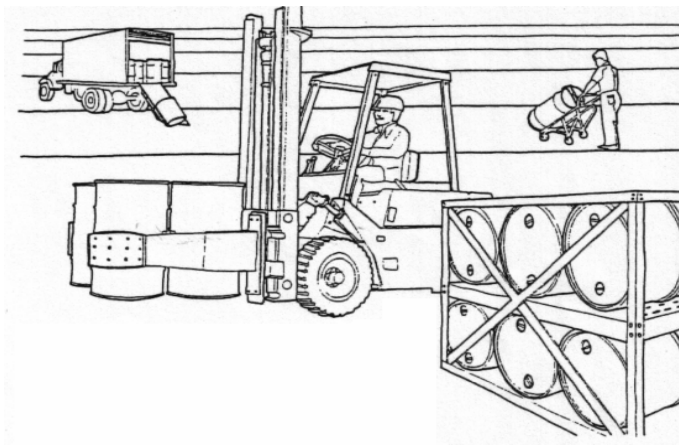
Tabla I Holguras de operación dinámica

Componente	Holgura Dinámica
Bomba de engranajes	
entre los dientes y la carcasa	0.5 - 5.0 μm
Bomba de aspas	
lados de las aspas	5.0 - 13 μm
extremos de las aspas	0.5 - 1.0 μm
Bomba de pistones	
del pistón a la abertura	5.0 - 40 μm
de la placa al cilindro	0.5 - 5.0 μm
Válvulas	
servo bobina al conector	1.0 - 4.0 μm
bobina proporcional al conector	1.0 - 6.0 μm
bobina direccional al conector	2.0 - 8.0 μm
Elementos de rodamientos	0.1 - 1.0 μm
Cojinetes	0.5 - 100 μm
Engranajes	0.1 - 1.0 μm

2.5 Impacto de la contaminación de agua en el desgaste

Aunque la contaminación de agua va más allá del campo de este trabajo de investigación, debe ser anotado que la presencia de agua en el aceite acelera la tasa de desgaste mecánico causado por partículas. La presencia de agua libre y disuelta debilita químicamente a las superficies metálicas expuestas, haciéndolas más susceptibles a los efectos de la erosión, la fatiga y el desgaste adhesivo. El resultado es un desgaste mecánico rápido conocido como tensión de corrosión.

Otro efecto perjudicial de la presencia de agua en el aceite es la reducción de la viscosidad y de la capacidad de lubricación. Estos cambios en el fluido pueden reducir el espesor de la película dinámica de aceite e incrementar la probabilidad del desgaste adhesivo en un sistema hidráulico.



Es muy importante para el buen rendimiento de los aceites, el manejo, almacenamiento y distribución de éstos. Lo cual es necesario por dos razones:

1. para preservar la integridad del producto
2. para preservar cualquier etiqueta de precaución colocada en los recipientes

Desafortunadamente, raras veces se tiene la práctica de adquirir fluidos de alta calidad que se contaminan por su rápida degradación; o se corre el riesgo de una mala aplicación ya que las etiquetas de identificación de los recipientes se vuelven ilegibles, debido a un manejo inapropiado de éstos.

El manejo y almacenamiento del fluido hidráulico es muy importante para la seguridad del personal y de la planta y reducir los riesgos de poner en peligro la salud y la producción. La mayoría de los productos derivados del petróleo son combustibles y requieren las precauciones necesarias para evitar incendios.

Durante el almacenamiento y distribución de los aceites, éstos pueden contaminarse. El deterioro de los fluidos también ocurre, por la exposición de éstos al calor y al frío, al mezclarlos entre fluidos de diferentes tipos, oxidándose, almacenamiento prolongado, reacción química con el vapor y la contaminación de agua.

3. SISTEMAS HIDRÁULICOS

3.1 Principios de operación

En los sistemas hidráulicos se pueden observar dos formas de operación o funcionamiento, según sea la necesidad de la aplicación:

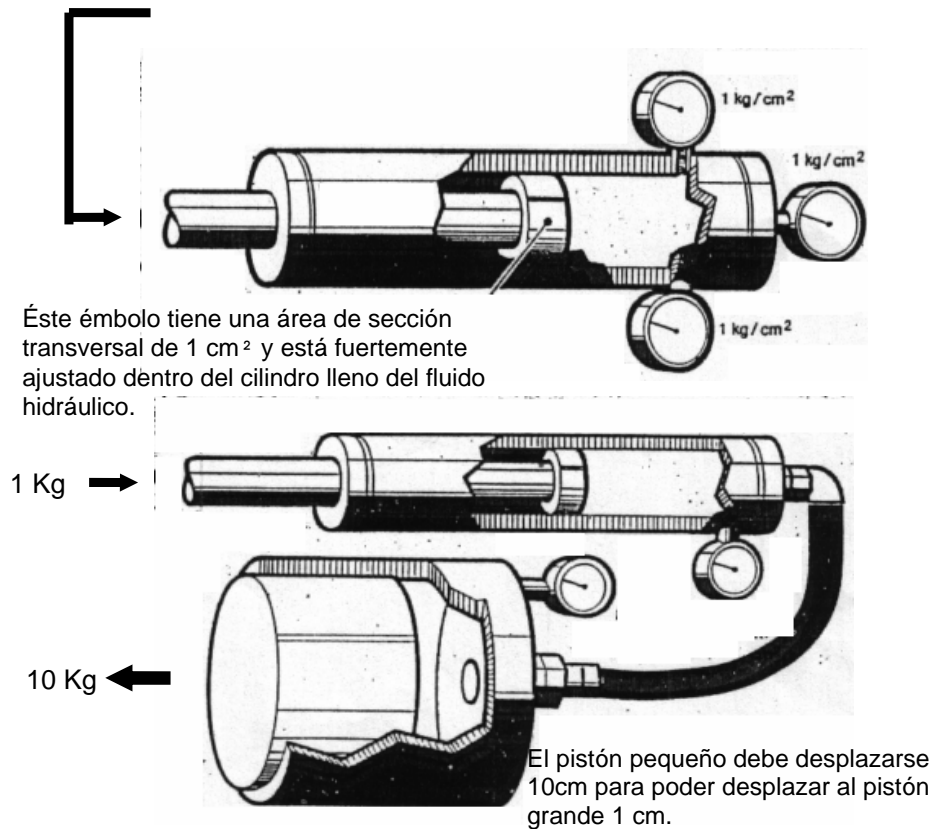
Los sistemas **hidrostáticos** versan sobre la transmisión de fuerza a través de la “energía de presión” de un fluido controlado dentro de un recipiente. Su principio de funcionamiento se basa en las declaraciones de la ley de Pascal: “La presión ejercida sobre un líquido encerrado es transmitida sin aminorarse en todas las direcciones, y actúa con igual fuerza sobre todas las áreas iguales”.

La importancia de la aplicación de los sistemas hidráulicos hidrostáticos radica en la multiplicación de fuerza, la cual se logra a expensas de la distancia recorrida.

Figura 7 Principios de operación hidrostática

En el punto **A** una fuerza de 1 Kg transmitirá una presión de 1 Kg/cm^2 hacia todos los puntos del cilindro. Asumiendo que no existieran pérdidas por la fricción, la presión encerrada indicaría en cualquier punto dentro del cilindro 1 Kg/cm^2 .

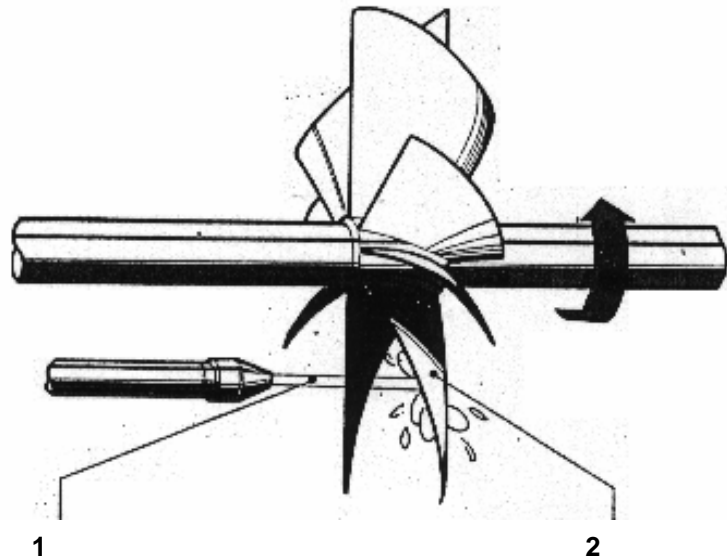
Continuación de figura 7



Los sistemas **hidrodinámicos** se ocupan de la transmisión de fuerza a través de la “energía de impacto” del caudal de un fluido. Su principio de funcionamiento se basa en las declaraciones de la ley del movimiento de Newton: “Siempre que el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo es alterado por una fuerza externa haciéndolo empezar a funcionar, detenerse, reducir su velocidad, acelerarse o cambiar de dirección - la cantidad de movimiento será proporcional a la fuerza que lo causa y tendrá lugar en la dirección de la fuerza aplicada”.

La importancia de la aplicación de los sistemas hidráulicos hidrodinámicos radica en la transferencia de energía cinética, la cual se logra a través de las aspas de un rotor.

Figura 8 Principios de operación hidrodinámica

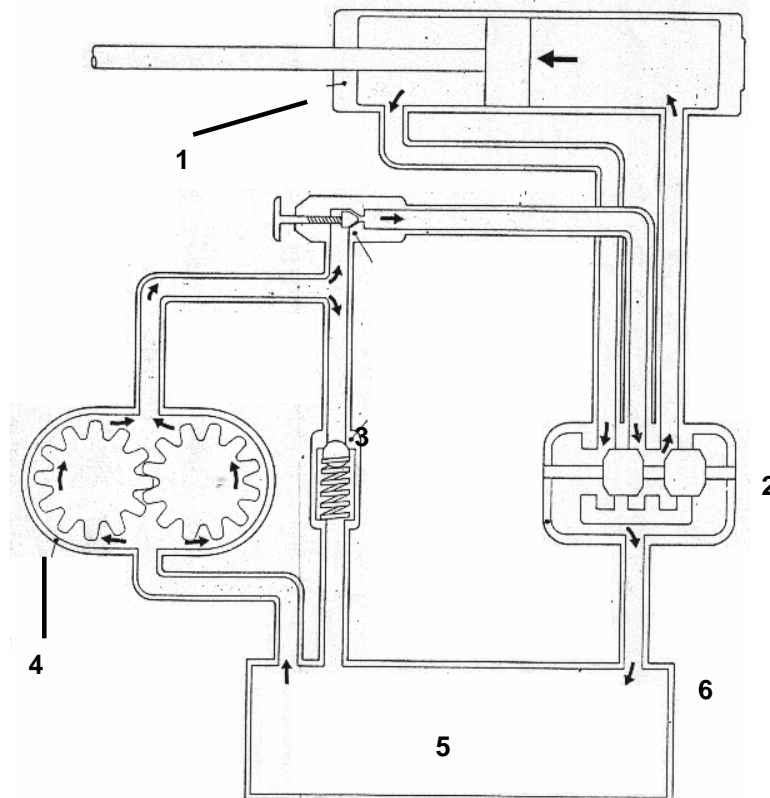


1. Cuando un líquido alcanza una velocidad lo suficientemente alta se origina turbulencia. Ésto da como resultado la disipación de la mayor parte de la energía cinética del fluido en movimiento y por lo tanto no es disponible para realizar un trabajo. No puede ser fabricado ningún dispositivo hidromecánico para que muncione con mayor eficiencia al incrementar la velocidad de un líquido más allá de cierto límite.
2. Mientras la velocidad del rotor se incrementa, las aspas empiezan a alcanzar la velocidad del fluido en movimiento. En este punto, parte de el movimiento, o de la energía cinética del fluido ha sido aprovechada para lograr la velocidad de las aspas. A partir de entonces, el fluido transfiere el resto de su energía cinética al rotor a través del impacto.

3.2 Funcionamiento de un sistema hidráulico

Un sistema hidráulico se puede definir como cualquier mecanismo que es activado por la energía de un fluido para transmitir fuerza o movimiento. El componente principal en los sistemas hidráulicos es la bomba, la cual es accionada por un primer dispositivo de movimiento (motor eléctrico, motor de combustión interna). La bomba recibe el fluido de un tanque depósito y lo descarga bajo presión hacia un cilindro o un motor, el cual, a su momento, deja escapar al fluido de regreso al depósito.

Figura 9 Componentes de un sistema hidráulico



1. **Motor hidráulico.** En ésta posición el fluido bajo presión empuja el pistón hacia la izquierda, y el fluido con menor presión a la izquierda del pistón, regresa al depósito a través de la válvula de control.
2. **Válvula de control.** Se usa para cortar o controlar la cantidad de caudal.
3. **Válvula de alivio.** Si la presión excede un nivel definido, la válvula se abre permitiendo que el fluido regrese al depósito.
4. **Bomba.** La bomba hidráulica convierte la energía mecánica en energía hidráulica.
5. **Válvula de control.** Controla la dirección del caudal
Dirige el fluido hacia la derecha o hacia la izquierda del motor.
6. **Depósito.** La función principal del depósito es almacenar el fluido hidráulico del sistema.

3.2.1 Sistemas de entrega fija

Estos sistemas descargan un volumen de fluido relativamente constante por ciclo. Maquinaria típica que requiere un caudal de entrega constante incluye máquinas herramienta (sierras, pulidoras de superficie, etc), y equipo movable (maquinaria agrícola y de construcción, equipos de cosecha para zonas boscosas, etc.)

3.2.2 Sistemas de entrega variable

Estos sistemas funcionan usualmente a velocidad constante, y pueden variar su salida de volumen desde cero hasta un máximo.

Las aplicaciones típicas que requieren una entrega de fluido variable incluyen transmisiones hidráulicas, carretes rebobinadores y dispositivos de tensión constante.

3.3 Ventajas de los sistemas hidráulicos

- Engranajes, palancas, levas y varillas de conexión pueden ser reemplazadas con frecuencia por combinaciones clave sencillas de bombas, válvulas, líneas de tubería y motores hidráulicos
- Dado que la potencia se transmite a través de tubería (puede circular en toda dirección), las partes y componentes hidráulicos pueden ser colocados más estratégicamente que los elementos mecánicos ensamblados en un diseño.
- Las velocidades y las fuerzas pueden ser infinita y uniformemente variadas con mínima vibración
- Alta eficiencia operacional debido a pocas pérdidas por fricción
- Pueden manejarse sobrecargas con un daño mínimo al sistema o a los componentes.

3.4 Partes de un sistema hidráulico

3.4.1 Tanque o depósito

Aunque su función principal es abastecer un suministro del fluido hidráulico, un depósito bien diseñado puede contribuir para mantener un buen rendimiento del fluido y para extender su vida de funcionamiento.

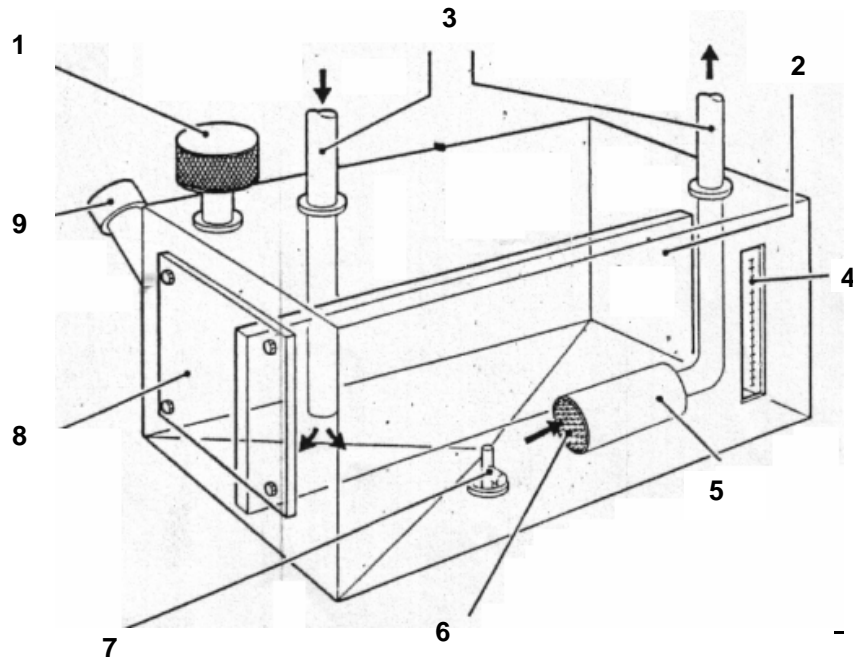
El depósito debe ser lo suficientemente grande para guardar el fluido requerido para llenar completamente el sistema. Una buena guía es suministrar una capacidad de depósito de 2 1/2 a 3 veces la potencialidad de la bomba en galones por minuto. La capacidad excesiva le da tiempo al fluido para enfriarse y permite que cualquier entrada de aire, escape o que los contaminantes se asienten y evacúen. Al construir un depósito para un sistema hidráulico se debe tener en cuenta algunas consideraciones y partes esenciales:

Comentario [A1]:

1. Un respiradero de aire, que contenga un filtro esencial para limpiar el aire que se introduce, y de buen tamaño para prevenir la formación de un vacío en el depósito.
2. Placas para controlar el flujo, colocadas entre las líneas de succión y de descarga, previenen la turbulencia excesiva y permiten que las partículas extrañas sean eliminadas del fluido.

3. Para un enfriamiento eficiente del fluido hidráulico, las líneas de succión y de retorno deben estar tan separadas como sea posible para prevenir que el fluido pase directamente de la entrada del depósito hacia la salida.
4. El indicador del nivel de fluido permite una inspección visual para asegurar el nivel apropiado dentro del depósito.
5. Un filtro colador para asegurar un buen funcionamiento de los componentes hidráulicos junto con los filtros y conectores magnéticos, puede ser utilizado para remover partículas extrañas del fluido hidráulico. Los coladores se construyen de finas mallas de alambre enrolladas al rededor de estructuras metálicas. Aunque dichos coladores no proporcionan una acción de limpieza tan fina como los filtros, éstos ofrecen menos resistencia al flujo y se utilizan en las líneas de succión de la bomba, donde la caída de presión debe mantenerse al mínimo.
6. La línea de succión debe estar localizada muy debajo de el nivel de la superficie del fluido para prevenir la entrada de aire al sistema.
7. El fondo del depósito debe ser cóncavo con el tapón de drenaje en el punto más bajo, ésto permite drenar el agua.
8. Las tapas de los extremos del depósito deben ser removibles para que se permita el fácil acceso cuando se haga una limpieza.
9. El agujero para el llenado se debe equipar con una fina malla para filtrar las partículas de materiales extraños cuando el fluido es agregado al depósito.

Figura 10 Depósito de un sistema hidráulico



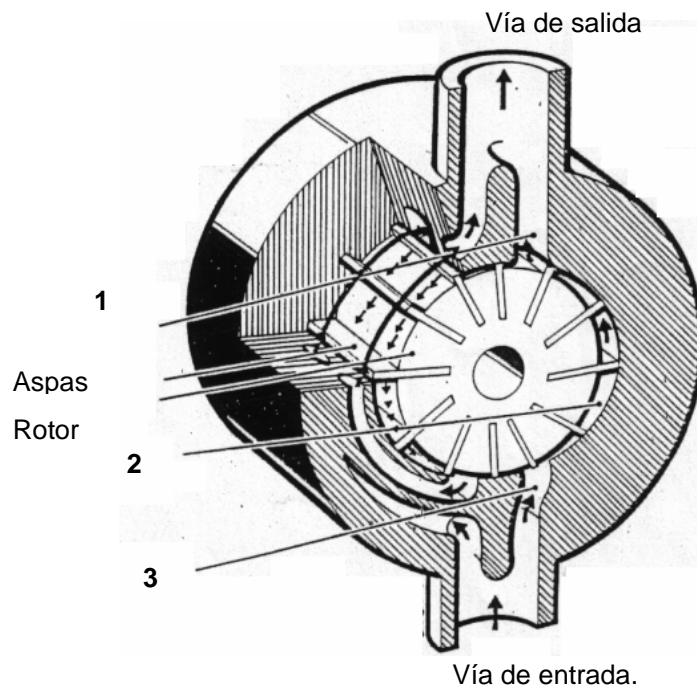
3.4.2 Bombas

La bomba es el aparato cuya finalidad es extraer, elevar e impulsar en determinada dirección el fluido de trabajo. Para este fin, existen distintas clases de bombas que se clasifican según su diseño y tipo de trabajo que realizan de acuerdo a dicho diseño.

3.4.2.1 Bomba de aspas

Las bombas de aspas son utilizadas extensamente para aplicaciones hidráulicas, especialmente en máquinas herramientas. Estas bombas consisten en una carcasa elíptica y un rotor excéntrico con ranuras radiales que contienen ajustadas un conjunto de aspas. Cuando el rotor gira, la fuerza centrífuga y presión hidráulica en la base de las ranuras del rotor sostienen las aspas para mantenerlas en contacto con la carcasa. El espacio entre el rotor y la carcasa está por lo tanto, dividido en un ciclo de cavidades, las cuales cambian su tamaño durante el movimiento giratorio del eje.

Figura 11 Bomba de aspas



1. El fluido se libera al mismo tiempo que el espacio entre la carcasa y el rotor se reduce.
2. El fluido se transporta entre la carcasa dentro de cavidades que lo bombean.
3. El fluido es ingresado en la medida que el espacio entre el rotor y la carcasa aumenta.

La bomba de aspas es menos sensible al desgaste que las bombas de engranajes ya que las aspas pueden desplazarse hacia afuera cuando se desgastan, y se mantiene un contacto constante contra el aro mientras rotan.

Pueden sufrir agrietamientos las aspas, el aro o el cuerpo de la bomba causado por polvo y materiales abrasivos del fluido. Los fluidos hidráulicos anti-desgaste han sido desarrollados para reducir al mínimo el desgaste y son los fluidos que se utilizan preferentemente.

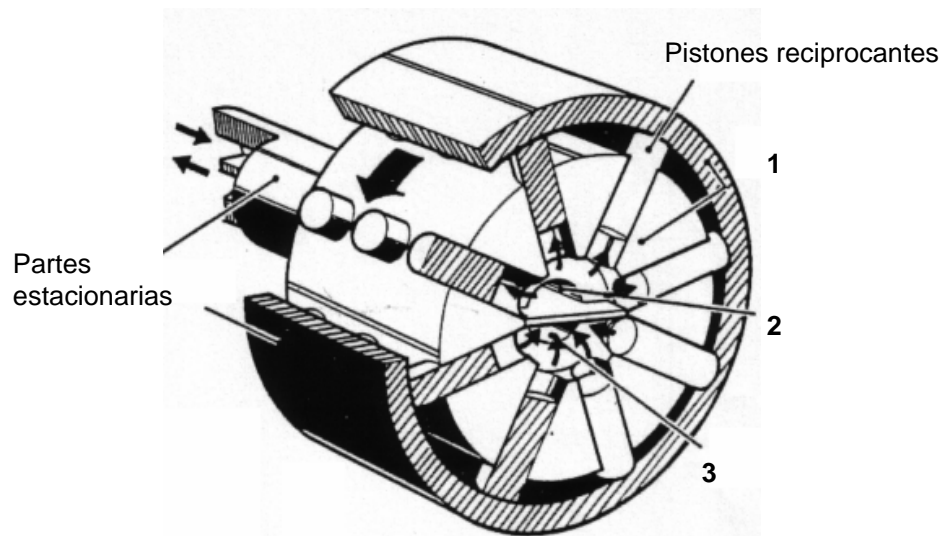
3.4.2.2 Bomba de pistones

Estas bombas son utilizadas comúnmente para las aplicaciones que requieren altas presiones y un control exacto de volúmenes de descarga. Aunque existe disponibilidad de muchos tipos de bombas de pistones, todos se basan por igual en un diseño de pistón radial o de pistón axial

Las **bombas de pistón radial** consisten en un bloque rotativo que contiene cilindros radiales y una carcasa exterior con la cual los pistones están en contacto constante.

El volumen del fluido bombeado puede variarse cambiando la excentricidad del bloque cilíndrico rotativo con respecto a la carcasa exterior. La magnitud que se aumenta a la excentricidad, es directamente proporcional a la cantidad de fluido bombeado. El fluido no es bombeado cuando el bloque y la carcasa son concéntricos. La dirección del caudal puede ser revertida, variando la excentricidad en la posición opuesta.

Figura 12 Bomba de pistones radiales.



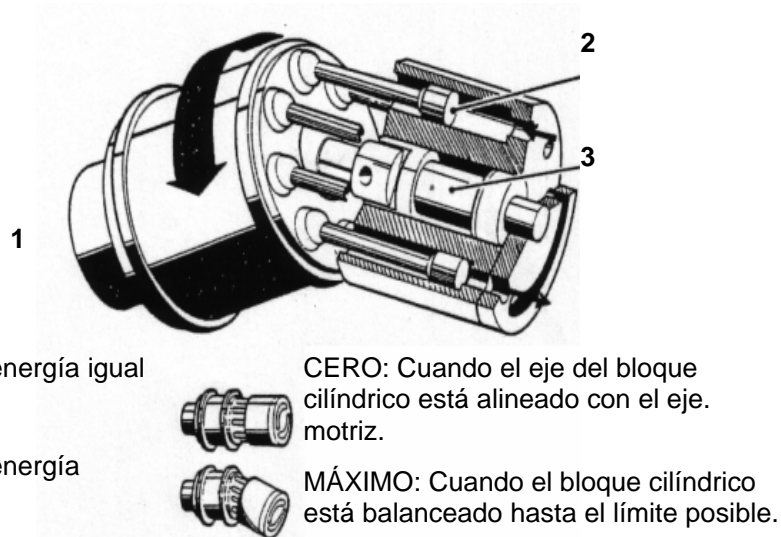
1. Bloque cilíndrico rotativo, montado excéntricamente en la carcasa.
2. El fluido pasa a través de las vías.
3. El fluido se descarga por medio de las aberturas.

Las **bombas de pistón axial** consisten de un bloque cilíndrico asemejándose a un revólver, con los pistones unidos a varillas cuyo extremo es en forma de bola, y éstas, van aseguradas a las bases de una placa.

El ángulo formado entre el bloque cilíndrico y la placa determina la longitud del desplazamiento del pistón de acuerdo con la entrega de energía.

La entrega de caudal de la bomba puede revertirse girando la placa hacia el extremo opuesto, sobre la posición neutral, es decir, la posición de presión cero.

Figura 13 Bomba de pistones axiales



1. El eje del cilindro puede girar sobre un pequeño arco, y con esto puede variarse la energía entregada.
2. Los pistones rotan mientras el bloque cilíndrico rota sobre su eje.
3. El bloque cilíndrico y los pistones están acoplados a éste componente, el cual es impulsado por un motor.

La eficiencia de estas bombas es bastante alta, aunque ésta puede ser considerablemente reducida por el desgaste. El fluido hidráulico debe ser filtrado y escogido cuidadosamente para lubricar apropiadamente las partes que lo requieren.

3.4.2.3 Bomba de engranajes

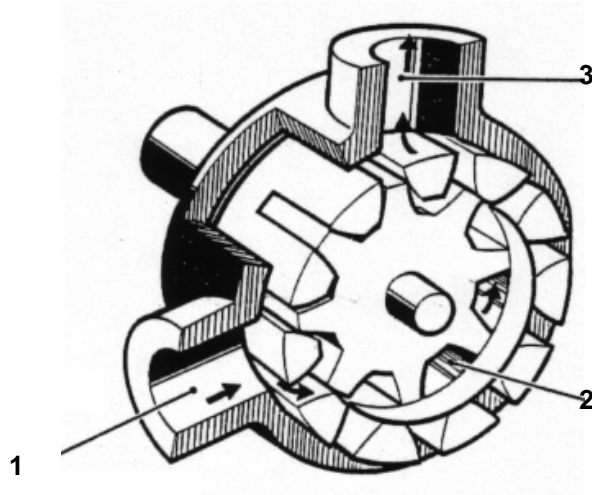
Las bombas de engranajes tienden a perder rápidamente su eficiencia si se desgastan o se agrietan debido a la presencia de abrasivos en el fluido hidráulico; tienen también la tendencia a agitar el fluido. Es por ello muy importante que se realice una apropiada selección de la filtración y del fluido. Estas bombas pueden ser del tipo de bifurcación o del tipo de engranaje interno.

3.4.2.3.1 Bomba de engranaje interno

Figura 14 Bomba de engranaje interno

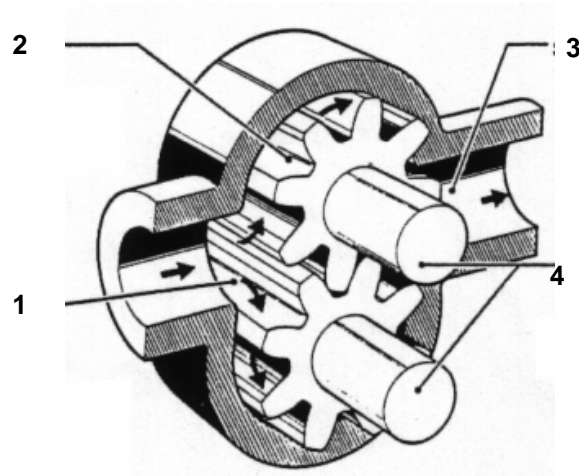
1. El fluido pasa a través del espacio entre los dientes de éste
2. El fluido se lleva dentro de los espacios entre los dientes de el engranaje interno.
3. En éste punto, el engrane constante de las ruedas dentadas empuja el fluido hacia la vía de salida.

Continuación figura 14



3.4.2.3.2 Bomba de bifurcación

Figura 15 Bomba de bifurcación



1. Se crea un vacío entre los dientes y el fluido es succionado del depósito.
2. El fluido es llevado dentro de la carcasa entre éstos espacios hacia la salida de la bomba.
3. El fluido es expulsado en la medida que los dientes regresan a engranarse.
4. La presión en la salida actúa contra los dientes de los engranajes causando empuje axial en los ejes.

Las bombas de engranajes entregan un volumen de caudal casi constante y son ideales para aplicaciones que requieren una operación hidráulica suave.

Éstas bombas consisten de un engranaje impulsor y un engranaje impulsado que se ajusta dentro de una carcasa.

3.4.3 Válvulas

Las válvulas son utilizadas para el control de:

- La dirección del caudal de fluido hidráulico
- La presión en el sistema
- El volumen de fluido suministrado al sistema

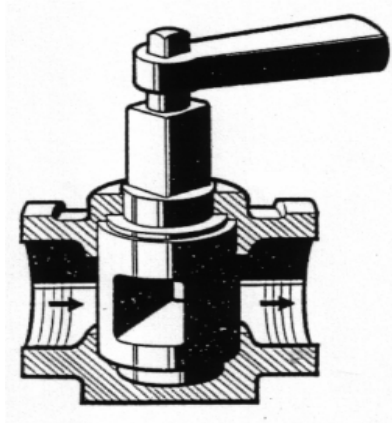
Las válvulas pueden ser operadas manualmente, mecánicamente, por electricidad, por sistemas neumáticos o hidráulicos. Los circuitos hidráulicos en los equipos modernos permiten que las secuencias de operación más complicadas sean completamente automáticas.

Dado que las válvulas son mecanismos de precisión, una operación eficiente depende de su apropiada adaptación, y de la aplicación de una cuidadosa selección y mantenimiento del fluido.

3.4.3.1 Válvulas grifos

Son pequeñas válvulas utilizadas para sangrar cilindros, accionar manómetros a encendido o apagado y para eliminar aire del sistema.

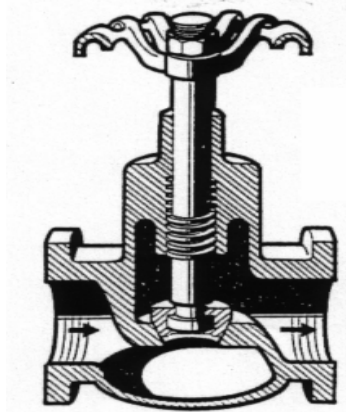
Figura 16 Válvula grifo



3.4.3.2 Válvulas de globo

Éstas son bastante confiables y trabajan mejor cuando se encuentran totalmente abiertas o totalmente cerradas. Ésta clasificación de válvulas ofrece un poco de resistencia al flujo y puede causar turbulencia.

Figura 17 Válvula de globo



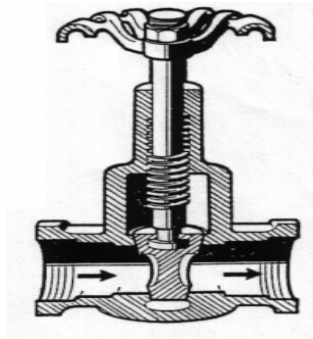
3.4.3.3 Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta tienen las siguientes ventajas sobre las válvulas de globo:

- En la posición totalmente abierta, efectivamente no ofrecen ninguna resistencia al flujo;
- Aún de gran tamaño pueden ser controladas fácilmente por mecanismos automáticos.

Estas válvulas son diseñadas para utilizarlas de cualquiera de las dos formas, totalmente abiertas, o totalmente cerradas. Cuando se utiliza una de éstas válvulas en una posición parcialmente abierta, ocurre un serio desgaste de la compuerta.

Figura 18 Válvula de compuerta



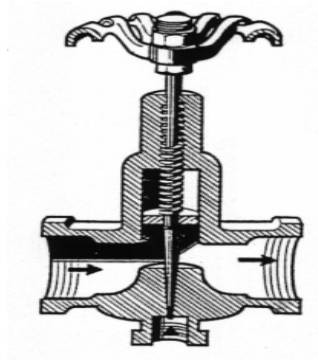
3.4.3.4 Válvulas de solenoide

Las válvulas de bobina controlan la dirección del flujo y son utilizadas extensamente en los equipos hidráulicos debido a su acción rápida y segura. Pueden ser construidas para manejar flujos a través de muchas partes de un sistema agregándoles protuberancias parecidas a pistones y con las aberturas apropiadas.

3.4.3.5 Válvulas de aguja

Ésta válvula es utilizada para medir el caudal con bastante precisión y se acostumbra que se opere manualmente. Las válvulas de aguja son utilizadas frecuentemente en las líneas de tubería conectadas a dispositivos sensibles que podrían ser dañados por una avalancha de presión. Éstas válvulas pueden funcionar eficientemente en cualquier posición, desde una abertura total, hasta totalmente cerradas.

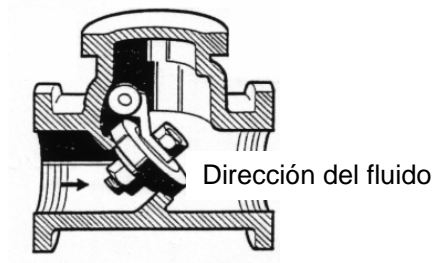
Figura 19 Válvula de aguja



3.4.3.6 Válvulas de retención

Las válvulas de retención permiten el flujo en una sola dirección. Éstas están disponibles en el mercado en grandes tamaños y ofrecen muy poca resistencia al flujo en la posición totalmente abierta.

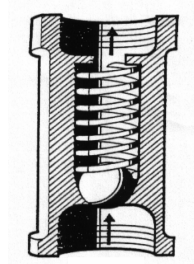
Figura 20 Válvula de retención



3.4.3.7 Válvulas de bola

Las válvulas de bola permiten el flujo en una sola dirección y se encuentran disponibles solamente en tamaños pequeños. Éstas son utilizadas como válvulas de alivio de presión para prevenir el incremento de presión excesiva en un sistema hidráulico, así como entre la bomba y el depósito.

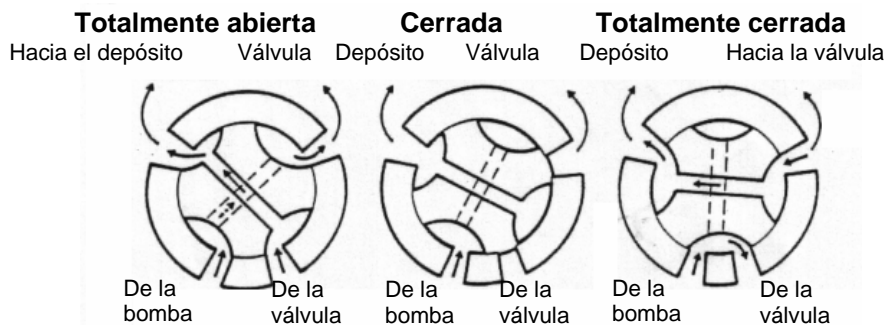
Figura 21 Válvula de bola



3.4.3.8 Válvulas rotativas

Las válvulas rotativas son utilizadas normalmente como válvulas piloto para controlar el movimiento de las válvulas de solenoide. La aplicación de aberturas y conductos adicionales permite el control del flujo a través de varias líneas con una sola válvula.

Figura 22 Válvulas rotativas



3.4.4 Motores hidráulicos

Los motores hidráulicos están diseñados para trabajar bajo los principios de operación hidrostáticos e hidrodinámicos. Por lo tanto, los motores hidráulicos se clasifican en dos:

- Motor de pistón (principio hidrostático)
- Convertidor de torque (principio hidrodinámico)

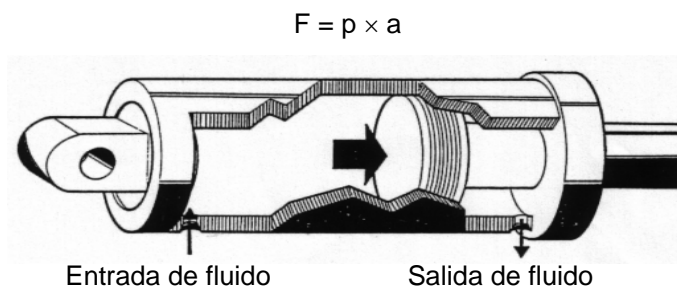
3.4.4.1 Motor de pistón

Los motores de pistón son de diseño simple y pueden ser construidos para soportar presiones muy altas de trabajo. Pueden ser utilizados en gran cantidad de máquinas, sobre todo en cualquier máquina donde se requiera de un movimiento lineal. Se pueden obtener otros movimientos empleando varios dispositivos mecánicos.

La operación de un motor de pistón se conforma de dos etapas que son determinadas por el movimiento que realiza el émbolo al desplazarse debido a la acción del fluido hidráulico.

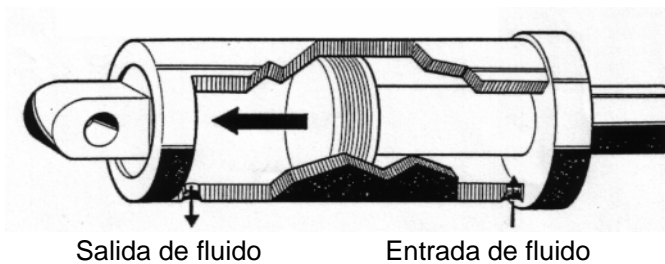
En el **desplazamiento de potencia**, el fluido bajo presión mueve el pistón hacia la derecha con una velocidad lenta y una fuerza máxima. Dado que no existe varilla del pistón que reste volumen al cilindro, mayor cantidad de fluido debe desembocar dentro del cilindro el cual moverá el émbolo durante el tiempo necesario para completar el desplazamiento de potencia. La fuerza suministrada en el desplazamiento de potencia, se define como el producto de la presión de trabajo multiplicada por el área superficial de la cara del pistón.

Figura 23 Desplazamiento de potencia



En el **desplazamiento de retorno**, el fluido bajo presión mueve el pistón hacia la izquierda con gran velocidad y una fuerza mínima. Con la varilla del pistón ocupando una porción considerable de volumen del cilindro, menor cantidad del fluido deberá llenar el interior del cilindro con el propósito de moverlo en su desplazamiento de retorno a la posición inicial y empezar otro ciclo con el desplazamiento de potencia.

Figura 24 Desplazamiento de retorno



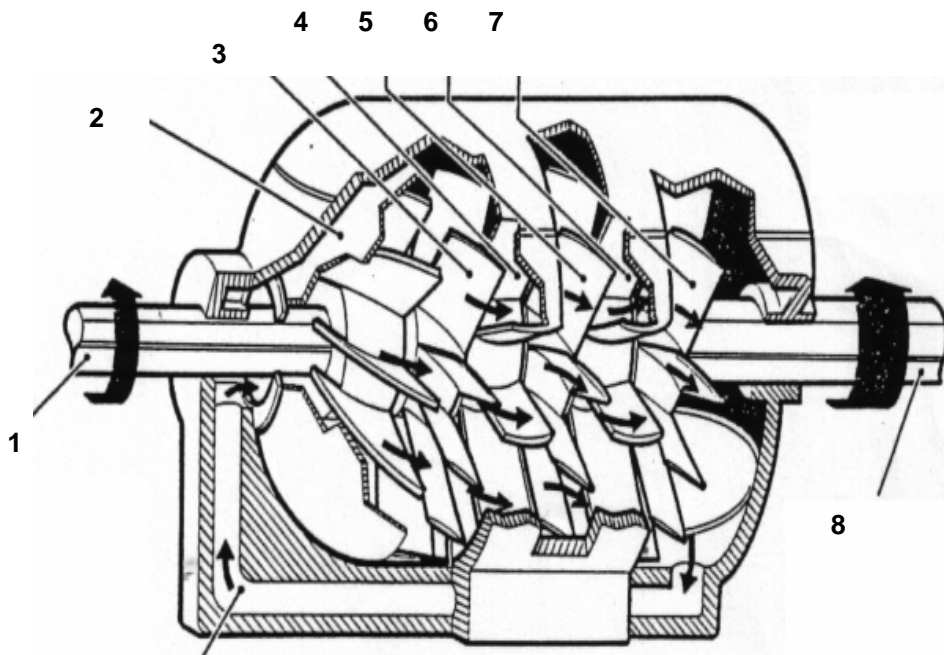
El motor de pistón es también llamado “pistón diferencial” y es utilizado principalmente en máquinas que requieren un movimiento de trabajo fuerte y de retorno rápido. Un motor real debería poseer topes para prevenir que el pistón obstruya las vías de entrada y salida del fluido hidráulico.

Las superficies de el pistón, la varilla del pistón y el cilindro deben estar fabricadas para altas tolerancias con el propósito de asegurar una máxima eficiencia de operación. Los acabados de la superficie pueden ser destruidos rápidamente por la presencia de polvo abrasivo transportado por el fluido. También, los productos de la descomposición del fluido como barnices y lacas pueden causar inactividad del fluido y una acción hidráulica irregular.

3.4.4.2 Convertidor de torque

Un convertidor de torque hidráulico es una zona de interconexión del fluido para el acoplamiento de dos elementos mecánicos, así como también para variar la proporción de torque de entrada y de salida. Con un convertidor de torque hidráulico en la salida de energía de un motor se puede obtener un gran torque a bajas velocidades, un pequeño torque a altas velocidades o cualquier combinación de ambos entre las limitaciones del equipo utilizado.

Figura 25 Convertidor de torque



Línea de retorno

1. Este eje es conducido a alta velocidad con un pequeño torque.
2. La bomba rota acoplada al eje, lleva al fluido dentro de la bomba y lo expulsa hacia el primer conjunto de aspas rotativas.
3. Un conjunto de rotor de aspas gira utilizando una parte de la energía cinética del fluido.
4. El conjunto de estator de aspas cambia la dirección del caudal de fluido hidráulico para alimentar el siguiente grupo de rotor de aspas.
5. Otro conjunto de rotor de aspas gira utilizando mayor cantidad de la energía cinética del fluido.
6. El conjunto de estator de aspas cambia la dirección del fluido, alimentándolo al siguiente grupo de rotor de aspas.
7. Cuando el fluido abandona el rotor de aspas la mayor parte de su energía se ha agotado. El fluido, por lo tanto, regresa al lugar de admisión de la bomba.
8. Este eje gira con una velocidad baja y un gran torque.

Los convertidores de torque hidráulicos requieren un fluido limpio con las características de viscosidad adecuadas. Para asegurar una larga vida útil, el fluido debe tener alta resistencia a la oxidación a las temperaturas de operación.

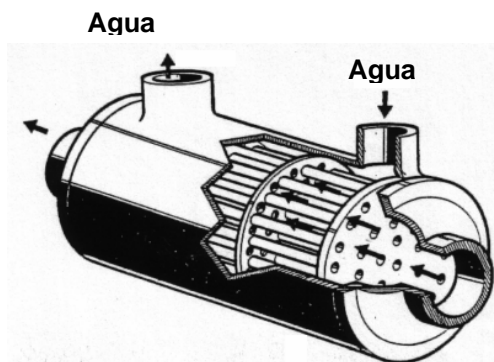
3.4.5 Componentes auxiliares

Existen cuatro componentes principales - tanque o depósito, bomba, válvula y motor hidráulico, los cuales se requieren para la construcción de los sistemas hidráulicos más complicados. Sin embargo, para lograr la eficiencia y funcionamiento máximo se podrían necesitar algunos componentes auxiliares.

3.4.5.1 Enfriadores del fluido

Los enfriadores son utilizados con frecuencia para prevenir el deterioro acelerado del fluido que es causado por las altas temperaturas de operación. Estos contienen una serie de tubos conectados enfriados por agua, a través de los cuales es bombeado constantemente el fluido hidráulico. Deben ser provistos de un método de derivaciones de paso de fluido para prevenir una concentración excesiva causada por una posible acción de restricción parecida a la de un filtro.

Figura 26 Enfriador



3.4.5.2 Filtros y coladores del fluido

La función principal de los filtros y los coladores es mantener el fluido dentro del sistema tan limpio como sea posible removiendo materia extraña y contaminación, la cual puede entrar inadvertidamente al sistema hidráulico.

Existen varios tipos de **filtros** disponibles, de los cuales los más comunes son los que utilizan elementos de filtro de celulosa o de materiales similares a arcilla. Dado que algunos filtros retiran los aditivos de los fluidos hidráulicos, éstos deben ser utilizados únicamente cuando el filtro y el tipo de fluido son completamente compatibles.

Los **coladores** son utilizados debido a la posibilidad de que algunos filtros pueden destruir los aditivos del fluido hidráulico, y gran cantidad de usuarios de los sistemas hidráulicos prefieren utilizar éstos.

El tipo de colador más común es una pantalla de una malla de alambre fino. Las pantallas de cobre y de aleaciones de cobre no deben ser utilizadas ya que pueden reaccionar químicamente con el fluido y reducir su vida de operación.

Los coladores deben ser diseñados para que permitan, en los trabajos de mantenimiento, retirar con facilidad la suciedad acumulada.

Figura 27 Filtro

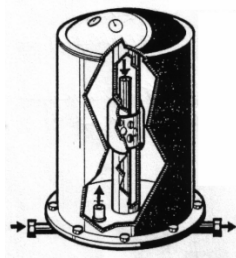
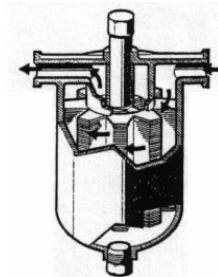


Figura 28 Colador

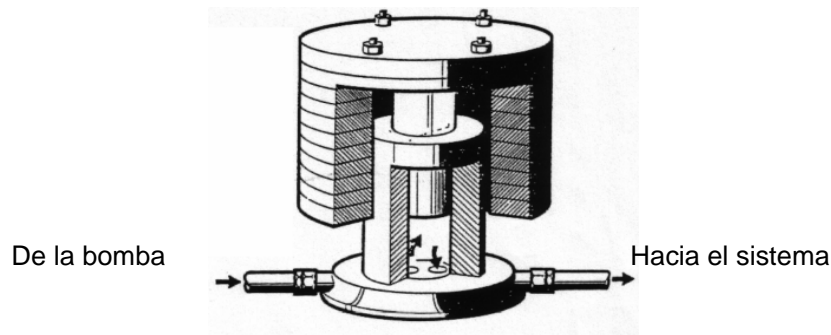


3.4.5.3 Acumuladores

Los acumuladores hidráulicos almacenan fluido bajo presión cuando la demanda es poca y lo alimentan de vuelta al sistema en los períodos de gran demanda. La utilización de éstos acumuladores permiten la utilización de una bomba más pequeña en el sistema, lo que da como resultado una reducción de costos en fondos de capital, así como también de tiempo de operación y de mantenimiento.

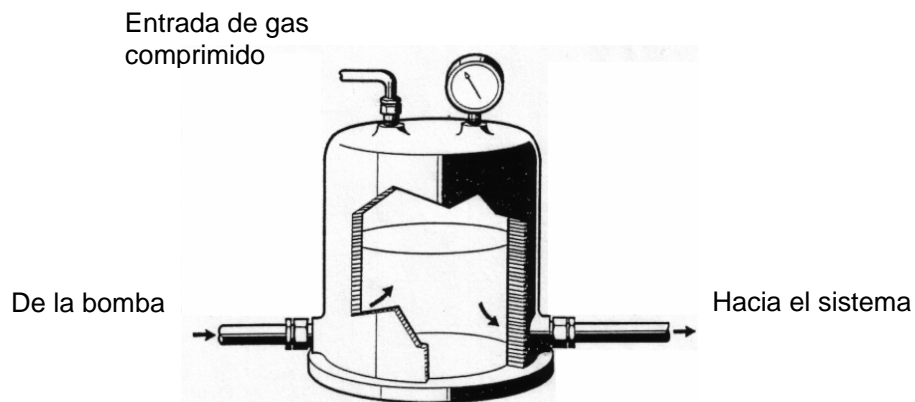
En el **acumulador recargado**, el fluido es almacenado dentro de un cilindro que contiene un émbolo sobre el cual se recarga un gran peso. Durante los períodos de poca demanda, el fluido inunda el interior del cilindro bajo presión y empuja al émbolo. Cuando la presión del fluido excede a la capacidad de la bomba, éste fluye bajo presión desde el cilindro y el émbolo regresa. La presión del fluido se mantiene casi constante durante todo éste proceso.

Figura 29 Acumulador recargado



En el **acumulador hidráulico de aire comprimido**, el fluido es almacenado en un depósito bajo presión. Durante los períodos de poca demanda, el fluido hidráulico desemboca por la parte inferior del depósito de presión y comprime el gas que se encuentra sobre la superficie. Cuando la presión del fluido excede la capacidad de la bomba, el fluido sale bajo presión desde el depósito y la presión del gas se debilita.

Figura 30 Acumulador de aire comprimido



En general, está comprobado que la confiabilidad de los sistemas hidráulicos está estrechamente ligada con la limpieza del fluido hidráulico que se encuentre trabajando dentro de dicho sistema. En un estudio de investigación estadística sobre instalaciones hidráulicas (reporte de la Asociación Británica de Investigaciones Hidromecánicas), los componentes que son reemplazados con mayor frecuencia en los sistemas hidráulicos son las bombas y los sellos.

Los sistemas hidráulicos son en general muy confiables, pero cuando ocurre algún problema es necesario encontrar la causa para evitar su reincidencia.

4. TRIBOLOGÍA

4.1 Tribología

Tribología es una ciencia relativamente nueva que se ocupa de estudiar los fenómenos relacionados con la fricción, (efectos de temperatura y presión), desgaste y lubricación adecuada de superficies con movimiento relativo, susceptibles de entrar en contacto.

4.2 Desgaste

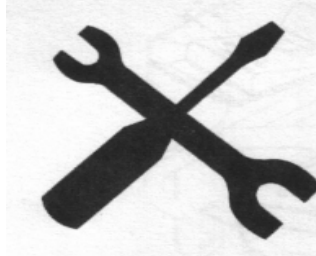
En toda máquina se produce un proceso de desgaste mientras funciona y aún cuando está detenida. El proceso de desgaste tiende a llegar hasta una falla. Este proceso puede desarrollarse en muy poco tiempo, tal es el caso de la falla por fatiga de algún material, que se puede alcanzar en pocos segundos. Sin embargo es más común que los procesos de desgaste ocurran en períodos más prolongados. En la práctica, se puede establecer un período de desgaste anormal, antes de que ocurra la falla.

4.2.1 Grados de avance de desgaste

El proceso de desgaste lo podemos clasificar según sea el:

- Período de asentamiento
- Período de desgaste normal
- Período de desgaste anormal

- Falla
- Falla crítica o catastrófica



Durante el período de desgaste podemos realizar diversas mediciones, para identificar parámetros relacionados con etapas y situaciones de la operación normal de la máquina.

Al iniciarse el período de desgaste anormal, las tendencias establecidas se alteran, anunciando la anormalidad. Cuando esta anormalidad progresa al punto de que la máquina presente síntomas detectables, podremos definir un período de falla. Si se deja que la máquina continúe en funcionamiento, se podrá alcanzar un nivel de falla crítica o catastrófica. En este período la falla es de tal severidad, que el equipo habrá que detenerlo o se detendrá espontáneamente, con el riesgo de que genere consecuencias secundarias aún más graves.

4.3 Mantenimiento correctivo

Cuando se presenta una falla, es cuando se aplica el mantenimiento correctivo, llamado Mantenimiento de Averías, es decir, éste espera el momento de la falla, después del período de desgaste anormal para corregir el daño ocasionado en la máquina.

4.4 Mantenimiento preventivo

En el mantenimiento preventivo se han desarrollado diversas formas de protección frente a las situaciones del proceso de desgaste. Algunas de estas se incorporan a la máquina, como los filtros, sensores de temperatura y presión, etc. Otras se aplican externamente de la máquina, como filtración externa, monitoreo de vibraciones y monitoreo tribológico mediante análisis de muestras seriadas y sucesivas de aceite usado.

4.5 Mantenimiento predictivo

Es la aplicación, durante el período de desgaste normal, de las técnicas más sensibles de prevención contra el desgaste de máquinas y otras anomalías en el funcionamiento. Así podremos predecir una falla al iniciarse el período de desgaste anormal, anticipándose a la aparición de síntomas derivados de la anomalía en progreso.

4.6 Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo utiliza principalmente, toda la información posible que constituye el historial de la maquinaria y equipo, incluyendo gráficas en las que se pueda apreciar la tendencia de las fallas, y llevar a cabo con esta información un control estadístico que permita atacar la causa de los problemas, es decir, desde su raíz.

Como resultado habrá una tasa máxima de detección de anomalías, en el momento preciso para revertir el proceso de desgaste y minimizar sus efectos.

El objetivo del mantenimiento proactivo es aumentar la vida útil de cada componente mecánico del sistema, aplicando el monitoreo de las condiciones del equipo, minimizando la gestión sobre fallas, maximizando el control sobre anomalías o fallas incipientes, con una importante disminución en tiempo de mantenimiento.

Entre las técnicas predictivas más aplicables a un programa de mantenimiento proactivo podemos mencionar:

- análisis vibracional
- balance térmico en máquinas de calor
- termografía
- análisis de aceite tradicional
- monitoreo tribológico.

El monitoreo tribológico comprende las técnicas más predictivas, incluyendo en éste el análisis del conteo de partículas en complemento con el monitoreo de vibraciones, presentan la más alta condición de un procedimiento de mantenimiento proactivo.

4.6.1 Monitoreo tribológico

Un programa de monitoreo tribológico es un control muy efectivo y permanente de la condición mecánica de los motores, equipos hidráulicos y otros sistemas lubricados. De esta forma, es posible detectar diversos tipos de anomalías con anticipación, hecho que permite tomar medidas apropiadas antes de que ocurra una falla.

Se trata básicamente de un programa de muestreo de aceites lubricantes y de sus respectivos informes de análisis con interpretación de los resultados. Obviamente un único análisis de aceite, puntual, bastaría sin lugar a dudas para definir acciones correctivas cuando se tiene la suerte, por decirlo así, de detectar una condición anormal.

Sin embargo, el mantenimiento predictivo exige de un monitoreo regular y permanente, con el fin de mantener un adecuado registro e historial de las tendencias de la maquinaria y equipo. Cada sistema monitoreado tiene su propia historia del seguimiento de las condiciones de funcionamiento.

El propósito del monitoreo tribológico es establecer un programa para monitorear la condición de los aceites lubricantes en uso. Este programa de monitoreo nos permite lo siguiente:

- Conocer el estado operacional de los componentes en movimiento que estén relacionados con el sistema de lubricación bajo estudio.

- Poder detectar muy tempranamente una amplia gama de situaciones anormales. Es posible establecer correlaciones directas de causalidad y de ésta forma prevenir efectivamente la ocurrencia de síntomas más avanzados que sean indicadores confiables de fallas.
- Efectuar diagnósticos y recomendaciones específicas de acción, basados en la interpretación de los resultados del análisis del aceite.

La mayor parte de las situaciones anormales va en última instancia a reflejarse en el aceite. Sabemos que un aceite está en contacto con componentes metálicos de diversas metalurgias que están sujetos al desgaste.

El aceite también puede relacionarse físicamente con los combustibles, con agua de enfriamiento y diversos aditivos. Por ello las relaciones de causalidad son necesariamente múltiples y complejamente inter-relacionadas.

El programa de monitoreo tribológico es un procedimiento obligadamente necesario para el proceso del **control de contaminación**, dado que es indispensable realizar un análisis de conteo de partículas para conocer tanto el nivel de contaminación inicial en el aceite, como el progreso de la limpieza del fluido alcanzada durante el desarrollo del programa.

4.6.1.1 Procedimiento

El procedimiento consiste en analizar muestras de lubricantes para determinar la presencia de elementos químicos, contaminantes, aditivos y partículas de desgaste.

Los datos obtenidos se relacionan en forma experta con la información histórica de cada sistema bajo control, para estudiar así las tendencias de los resultados de muestras sucesivas. Los cambios bruscos en las tendencias, permiten detectar anticipadamente las anomalías que ocurran en el sistema.

4.6.1.2 Métodos

Los métodos utilizados son todos de alta tecnología:

- 1. Espectrometría de emisión.** Permite determinar la presencia de elementos químicos solubles o partículas en suspensión, desde aquellas menores que un micrón de tamaño, para detectar metales de desgaste, contaminantes y degradación de aditivos.
- 2. Espectrometría infrarroja por transformadas de Fourier.** Permite determinar la degradación del ácido corrosivo y la contaminación con agua. En el caso de aceites de motor, permite detectar contaminación con combustible, refrigerante y el hollín que genera una mala combustión. Este análisis permite detectar cambios de formulación del aceite nuevo por autorreferencia.
- 3. Ferrografía analítica.** Permite estudiar 16 tipos diferentes de partículas, posibles de encontrar en una muestra de aceite, mediante un específico sistema microscópico. Este sistema permite detectar todo tipo de partícula contaminante, determinar su composición química y severidad de desgaste o contaminación.

4. Análisis de conteo de partículas. Permite determinar la presencia de partículas en suspensión, de cualquier composición y distribuidas según su tamaño, desde dos a 400 micrones. El tamaño y concentración de las partículas presentes en los aceites tienen relación directa con la severidad de las anomalías.
5. Viscosimetría. Permite medir la degradación que ha sufrido la viscosidad del aceite lubricante en un período de trabajo establecido.

4.6.1.3 Contaminantes internos

Los contaminantes de generación interna pueden ser los más peligrosos, por tratarse muy frecuentemente, de partículas muy duras y abrasivas. Entre estos se pueden mencionar contaminantes del tipo de partículas producidas en el sistema durante el rodaje y por desgaste, partículas que se han acumulado o que se han soltado durante la puesta en marcha y partículas que se han introducido con el lubricante durante el mantenimiento, así como productos resultantes del envejecimiento del lubricante o fluido hidráulico.

4.6.1.4 Contaminantes externos

El ingreso de contaminantes al sistema corresponde a partículas que llegan con el viento, partículas propias del ambiente que entran a través de respiraderos, piezas dimensionalmente dañadas o durante reparaciones realizadas de forma inadecuada.

4.6.1.5 Determinación de las partículas contaminantes

Para hacer un análisis completo de los contaminantes que pueden estar presentes en los aceites, se determina lo siguiente:

- la forma y el aspecto de las partículas
- la cantidad y la distribución de tamaño de las partículas
- la composición química de los contaminantes

Al iniciar un control de contaminantes es de suma importancia determinar los objetivos.

- nivel de limpieza del fluido
- nivel de vibraciones u otro parámetro relevante
- selección y colocación de filtros

El nivel de limpieza óptimo estará dado por el código ISO que recomienda el fabricante, para la operación específica de que se trata, o bien, el que se determina por sucesivas muestras analizadas por un conteo de partículas.

Para la determinación del código ISO se deberán considerar condiciones como el ciclo de lubricación y de operación, viscosidad del fluido, vida útil esperada, operación con partidas en frío, operación intermitente, vibraciones, criticidad de la operación, etc.

Los filtros pueden instalarse en diferentes puntos y su caracterización dependerá de los objetivos preestablecidos. Al seleccionar un filtro hay que recordar que su rendimiento se ve afectado por diversos factores de funcionamiento incluyendo la viscosidad del aceite, el caudal, y sobre todo, las concentraciones de partículas sólidas. Por lo tanto resulta difícil caracterizar el rendimiento de un filtro de una manera exacta.

Hace algunos años se introdujo una expresión para la retención de las partículas, denominada β_x , de acuerdo con ISO 4572. Esta expresión nos da la relación del número de partículas aguas abajo entre el número de partículas aguas arriba del filtro en condiciones normalizadas. El índice x da el tamaño de partícula para el cual se ha aplicado la relación β_x .

Los filtros presentan un valor β_x inicial y una eficiencia inicial. Estos valores, durante el uso del filtro, se incrementan para estabilizarse y generalmente no se tiene en cuenta que éstos posteriormente, disminuyen.

Cuando se trata de controlar niveles de limpieza muy exigentes, se deberá tener en cuenta que los indicadores de saturación de los filtros, que operan por diferencial de presión, son absolutamente insuficientes. La razón es que antes de la condición de saturación, que se especifica para condiciones promedio, el elemento se habrá saturado de partículas pequeñas, que empezarán a retornar al fluido en condiciones más perjudiciales para el buen estado del equipo.

Los sistemas hidráulicos de alta presión son más críticos debido a que tienen menores tolerancias de diseño y las presiones mayores provocan la entrada de partículas a lugares críticos, muy sensibles, ocasionando muy frecuentemente obstrucción de conductos y de válvulas.

4.6.1.6 Filtros externos

En muchos casos es útil y hasta necesaria la aplicación de filtros externos en el proceso, al cual se le ha llamado diálisis y a los filtros utilizados se les llama *Riñón* por la similitud con el procedimiento de medicina.

Este procedimiento tiene por objeto realizar una limpieza adicional para ajustar su nivel, ante una tendencia negativa de éste. Tiene las siguientes ventajas:

- independiente del circuito principal, por lo tanto no está sujeto a las condiciones ambientales del sistema;
- se puede operar durante una detención de la máquina;
- continuará filtrando normalmente aún cuando la bomba quede fuera de operación;
- se pueden cambiar los elementos aunque el sistema siga funcionando;
- se usa para cambiar el aceite manteniendo el nivel de limpieza.

Los filtros utilizados pueden ser convencionales, pero se obtiene mayor beneficio al usar unidades de filtración-destilación. Son capaces de filtrar partículas a un nivel de limpieza muy alto, eliminando agua y gases.

Se componen de una unidad de filtración, un precalentador que aumenta la temperatura del aceite y una cámara de destilación, donde se elimina el agua y los elementos volátiles. Poseen la ventaja de no degradar el aceite ni por efectos de la temperatura y tampoco por disminución de la concentración de aditivos.

El período inicial de funcionamiento, en la mayoría de las máquinas, es crítico. Incluso antes del período llamado de asentamiento, debe realizarse un procedimiento de limpieza llamado *flushing*. Se extrae gran cantidad de partículas provenientes de la fabricación de componentes o, que ingresan durante el proceso de ensamble.

Un procedimiento de flushing puede tener tres etapas mínimas:

1. Soltar las partículas y llevarlas al filtro
2. Pasar un fluido por todas las líneas y componentes
3. Capturar la contaminación en forma eficiente.

En todo caso la lubricación, los filtros, los procesos de *flushing*, las pruebas de nuevos elementos y todos los procedimientos involucrados en el mantenimiento predictivo-proactivo, requieren de un monitoreo tribológico.

5. GUÍA PARA EL CONTROL DEL DESGASTE A TRAVÉS DE UN MONITOREO DE CONTAMINACIÓN

Existen tres **aspectos** esenciales que se deben conocer para un control total de limpieza:

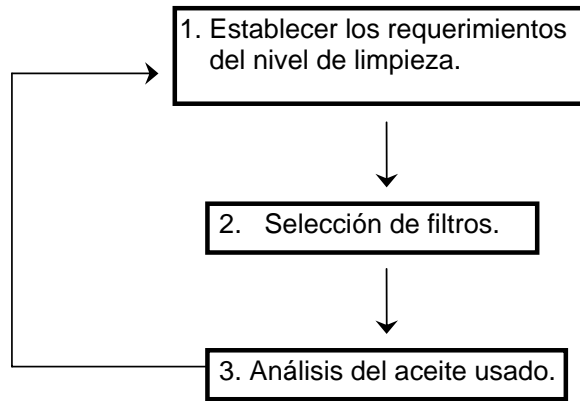
1. Estándares de limpieza del fluido (norma ISO 4406).
2. Selección de filtros para alcanzar los requerimientos de limpieza.
3. Análisis de aceite, muy importante para confirmar la limpieza del fluido hidráulico.

Cada uno de estos pasos se debe llevar a cabo ordenadamente, ya que existen interrelaciones entre ellos que determinan la dependencia que tiene uno del otro.

Se observa que, la selección de filtros se realiza después de establecer el nivel de limpieza que se pretende alcanzar; un adecuado sistema de filtración y manejo del aceite hidráulico garantiza la reducción de contaminación dentro del sistema; a través del análisis de aceite se llega a determinar el nivel de la limpieza con el que se ha estado trabajando durante algún tiempo y a su vez para comprobarlo durante el tiempo de monitoreo de contaminación.

Lo anterior se puede visualizar en el siguiente diagrama de etapas que ilustra claramente este proceso del control de contaminación.

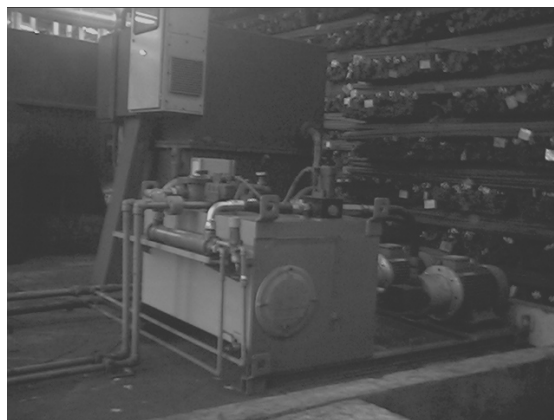
Figura 31 Etapas del monitoreo de contaminación



5.1 Desarrollo del procedimiento

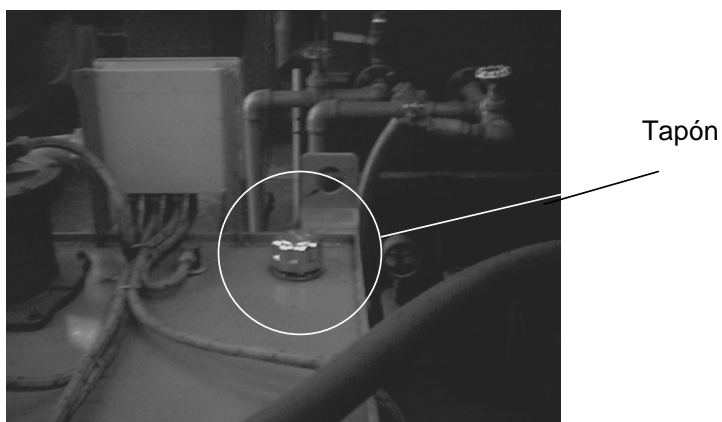
- Cuando se va a realizar un control de desgaste mecánico por medio del monitoreo de contaminación dentro de un sistema hidráulico, se debe de identificar la central hidráulica con la cual se llevará a cabo y cada uno de sus elementos.

Figura 32 La central hidráulica



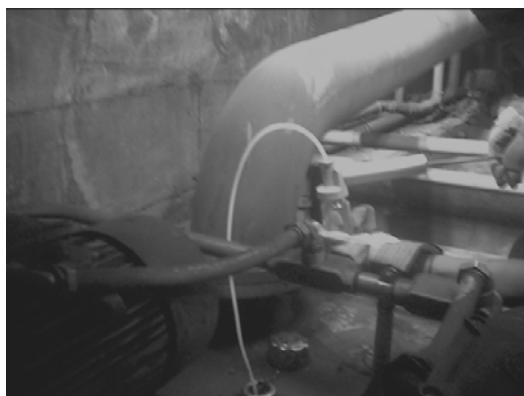
- Una vez identificada la central hidráulica, se debe localizar el tapón del depósito donde se debe extraer la muestra de aceite usado para someterla a un análisis de conteo de partículas.

Figura 33 Tapón de la central hidráulica



- La muestra de aceite se debe de tomar desde el tapón del depósito con el uso de una bomba de succión manual y una manguera limpia suficientemente larga para que se introduzca dentro del tanque. El aceite usado se recibe dentro de un frasco limpio.

Figura 34 Extracción de la muestra de aceite



- La muestra de aceite, debidamente identificada, se envía al laboratorio adecuado para que se le efectúe un análisis de conteo de partículas. La identificación de la muestra debe cotener al menos los siguientes datos:

Figura 35 Muestra de aceite usado que se envía al laboratorio



1. Fecha en que se tomó la muestra
2. Máquina a la que corresponde la muestra
3. Tiempo que ha trabajado el aceite que se analizará
4. Tipo de aceite (viscosidad, marca, sintético, mineral, etc.)
5. Servicio al que es sometido (liviano, normal, severo)

- Conociendo los resultados del análisis de la muestra y la lectura de presión que marca el indicador de la central hidráulica, se debe establecer el nivel de limpieza donde se encuentra de acuerdo a la norma ISO 4406.

Figura 36 Lectura de la presión de operación en el manómetro



5.1.1 Aspecto # 1: Determinación de estándares de limpieza del fluido hidráulico (Normalización ISO 4406)

Los niveles de limpieza para un fluido hidráulico son expresados en términos de el código de limpieza 4406 de la Organización Internacional de Normalizaciones (ISO).

Un código ISO se crea seleccionando dos rangos de cantidades ISO, que corresponden al número de partículas que se detecta dentro de un mililitro del fluido hidráulico que sea sometido a un análisis de conteo de partículas.

Las partículas contaminantes que determinan las cantidades en los rangos de limpieza son las mayores que 5 y 15 micrones. El incremento en cada rango de cantidades representa una duplicación en el nivel de contaminación.

Muchos sistemas utilizan un código de limpieza de tres dígitos, el cual incluye un rango de cantidades ISO extra para las partículas contaminantes mayores que 2 micrones. Este método proporciona un parámetro muy útil del nivel de sedimentos de 1 a 5 micrones en la muestra de un fluido.

A continuación se puede visualizar la tabla de rangos de limpieza que han sido establecidos por la norma ISO 4406. Con la ayuda de esta información podemos conocer el estado de cualquier muestra de aceite .

Tabla II Código ISO para niveles de limpieza

Rangos	Partículas > 5 Micrones		Partículas > 15 Micrones	
20/17	5 000	-1 000 000	64 000	-130 000
20/16		"	32 000	-64 000
20/15		"	16 000	-32 000
20/14		"	8 000	-16 000
19/16	250 000	-500 000	32 000	-64 000
19/15		"	16 000	-32 000
19/14		"	8 000	-16 000
19/13		"	4 000	-8 000
18/15	130 000	-250 000	16 000	-32 000
18/14		"	8 000	-16 000
18/13		"	4 000	-8 000
18/12		"	2 000	-4 000
17/14	64 000	-130 000	8 000	-16 000
17/13		"	4 000	-8 000
17/12		"	2 000	-4 000
17/11		"	1 000	-2 000
16/13	32 000	-64 000	4 000	-8 000
16/12		"	2 000	-4 000
16/11		"	1 000	-2 000
16/10		"	500	-1 000
15/12	16 000	-32 000	2 000	-4 000
15/11		"	1 000	-2 000
15/10		"	500	-1 000
15/09		"	250	-500
14/11	8 000	-16 000	1 000	-2 000
14/10		"	500	-1 000
14/09		"	250	-500
14/08		"	130	-250
13/10	4 000	-8 000	500	-1 000

Para poder observar de una forma más clara la aplicación de las tablas ISO 4406 al establecer los niveles de limpieza de los aceites hidráulicos, a continuación se presenta como ejemplo el caso de una muestra de aceite que fue sometida a un análisis de conteo de partículas desde 2 micrones hasta 15.

Ejemplo: Tamaño de la partícula Partículas mayores Rango de código

2	5120	X
5	5000	13
10	4000	X
15	7500	10
25	300	X
50	40	X

El código de limpieza de dos dígitos para este ejemplo, de acuerdo al conteo de las partículas contaminantes presentes, y según los datos de las tablas de la normalización ISO 4406, queda expresado **13/10**.

5.1.2 Aspecto # 2: Selección de filtros para los requerimientos de limpieza

Se han desarrollado en base a la práctica y experiencia, guías para la selección de los índices de supresión de los filtros que, cuando son aplicados apropiadamente a un sistema, se tendrá la satisfacción de lograr los propósitos de limpieza específicos para dicho sistema.

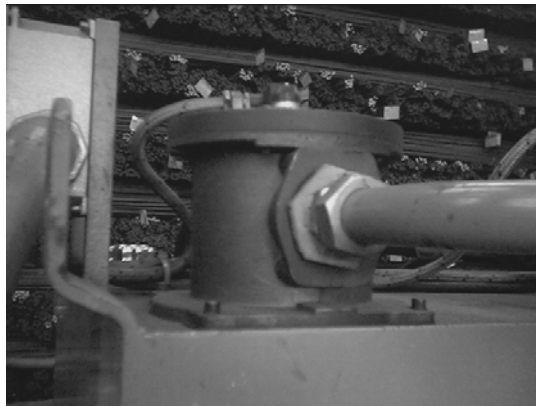
Tabla III Selección de filtro

NIVEL DE LIMPIEZA ISO	ÍNDICE DE FILTRACIÓN REQUERIDO
12/10/ 7 - 14/12/10	1 μm
14/12/10 - 16/14/12	3 μm
16/14/12 - 17/16/13	6 μm
17/16/13 - 19/17/14	12 μm

Existen tres posiciones principales donde pueden ser instalados los filtros en un sistema hidráulico:

- En la línea de presión
- En la línea de retorno
- Fuera de las líneas de retorno y presión

Figura 37 Filtro

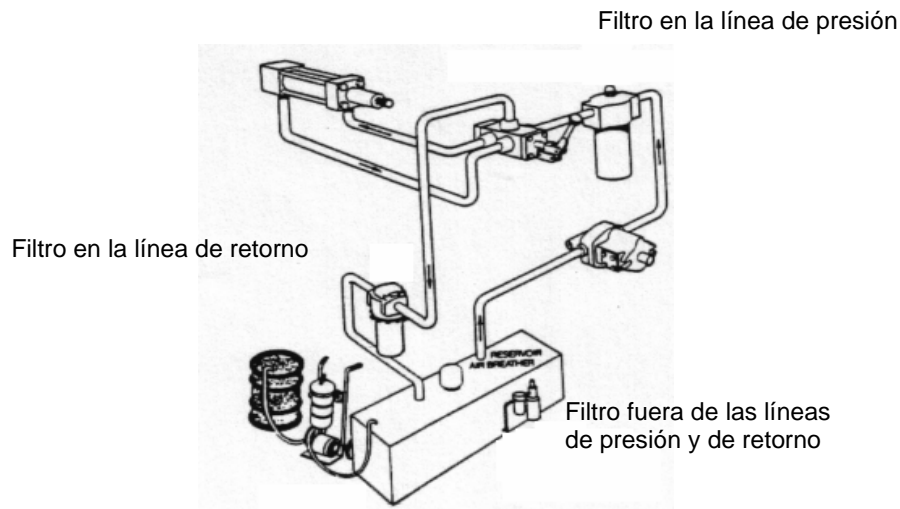


- Los filtros en la línea de presión se instalan directamente bajo la corriente de la bomba del sistema para prevenir la presencia de restos que dañan válvulas, cilindros, motores y otros componentes que reciben la presión del fluido. También pueden servir como filtros de recuperación frente a los componentes críticos, tales como las servo-válvulas.
- Los filtros de la línea de retorno proporcionan el mejor instrumento para mantener limpio un depósito hidráulico. Éstos filtros proveen máxima protección contra el desgaste de la bomba y generalmente no son tan caros como los filtros de alta presión debido a su diseño de bajos parámetros de presión.
- Los filtros fuera de las líneas de presión y retorno, se utilizan en sistemas donde no es posible el acceso a tuberías o la existencia de un caudal excesivo no permite el uso de filtros de línea. Con un sistema adecuado para su reemplazo, éstos pueden mantener limpio el depósito, pero no se encuentran efectivamente cercanos a los componentes para evitar daños en el sistema, como los filtros de línea. También pueden ser utilizados como filtros refinadores para extender la vida de servicio de los elementos ubicados en las líneas de trabajo del fluido hidráulico.

Figura 38 Identificació de las líneas de presión y de retorno



Figura 39 Ubicación de los filtros



5.1.3 Aspecto # 3: Análisis de aceite para asegurar la limpieza del fluido hidráulico

Existen dos métodos utilizados normalmente para medir los niveles de partículas en las muestras de aceite.

1. Conteo óptico de partículas
2. La prueba de fragmentos

El método del **conteo óptico de partículas** reporta el número y tamaño de las partículas basándose en un conteo desarrollado microscópicamente o con contadores automáticos de partículas.

La mayoría de los laboratorios utilizan contadores automáticos para evitar costos de tiempo y los caros instrumentos y accesorios de los microscopios.

Desafortunadamente, los resultados de los contadores automáticos difieren ampliamente de un laboratorio a otro debido a las diferencias que ocurren en la preparación de la muestra de aceite, técnica del operador, y calibración de la máquina. Los conteos automáticos también pueden ser inexactos si en el aceite existen gotas de agua, burbujas de aire y lodos.

El método de **la prueba de fragmentos** consiste en succionar un volumen medido del aceite a través de una membrana de análisis y examinándolo por medio de un microscopio. El nivel de contaminación sobre la superficie de la membrana se compara con las fotografías de un conteo exacto en un “comparador de fragmentos”, y de ésta forma se hace un estimado del conteo de partículas.

La prueba de fragmentos proporciona resultados exactos para un rango de códigos ISO en la medida que provee una identificación visual de el tipo de contaminantes presentes en la muestra. El análisis es ideal cuando existen situaciones de problemas donde se requieren inmediatamente los resultados.

A continuación se observan los resultados de un análisis completo, de un aceite hidráulico de la marca CITGO que, además de presentar un análisis espectrográfico de 21 elementos de su composición química, proporciona un conteo de partículas contaminantes, hecho por contadores automáticos en un laboratorio.

Figura 40 Resultados de un análisis de aceite, hecho en laboratorio

Equipment Number		Component Type		Description: HYDRAULIC																											
M5-1		H		Serial Number:																											
Customer Number : 85239,				Make:	Model:																										
				Oil Brand: CITGO	Oil Type: AW HYD																										
<u>Spectrochemical Analysis</u>																															
Lab Number	Date Taken Tested	Hrs/Mi Oil Comp	Fe	Cr	Pb	Cu	Su	Al	Ni	Ag	Mn	Si	B	Na	K	Mg	Cn	Hn	P	Zn	Mo	Ti	V								
15631	01/29/2002 02/08/2002	1476	3	0	0	6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	48	0	197	387	0	0	0								
<u>Physical Properties</u>						<u>Additional Customer Tests</u>																									
<table border="1"> <tr> <td><u>GL</u></td> <td><u>FP</u></td> <td><u>FD</u></td> <td><u>V4</u></td> <td><u>V1</u></td> <td><u>W</u></td> <td><u>S</u></td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>64.2</td> <td>N/A</td> <td>0</td> <td>N/A</td> </tr> </table>						<u>GL</u>	<u>FP</u>	<u>FD</u>	<u>V4</u>	<u>V1</u>	<u>W</u>	<u>S</u>	N/A	N/A	N/A	64.2	N/A	0	N/A	<table border="1"> <tr> <td><u>TAN</u></td> <td><u>TBN</u></td> <td><u>OXID</u></td> </tr> <tr> <td>0.45</td> <td></td> <td>0</td> </tr> </table>						<u>TAN</u>	<u>TBN</u>	<u>OXID</u>	0.45		0
<u>GL</u>	<u>FP</u>	<u>FD</u>	<u>V4</u>	<u>V1</u>	<u>W</u>	<u>S</u>																									
N/A	N/A	N/A	64.2	N/A	0	N/A																									
<u>TAN</u>	<u>TBN</u>	<u>OXID</u>																													
0.45		0																													
<u>Particle Count</u>																															
<table border="1"> <tr> <td><u>ISO Code:</u></td> <td><u>>2</u></td> <td><u>>5</u></td> <td><u>>15</u></td> <td><u>>25</u></td> <td><u>>100</u></td> </tr> <tr> <td>20/17</td> <td>9,517</td> <td>767</td> <td>237</td> <td>34</td> <td>7</td> </tr> </table>						<u>ISO Code:</u>	<u>>2</u>	<u>>5</u>	<u>>15</u>	<u>>25</u>	<u>>100</u>	20/17	9,517	767	237	34	7														
<u>ISO Code:</u>	<u>>2</u>	<u>>5</u>	<u>>15</u>	<u>>25</u>	<u>>100</u>																										
20/17	9,517	767	237	34	7																										

Los resultados de el análisis espectrográfico en la figura , indican que:

1. la presencia de hierro (Fe) es de 3 partes por millón
2. la presencia de cobre (Cr) es de 6 partes por millón
3. la presencia de estaño (Pb) es de 1 parte por millón
4. Las propiedades físicas indican una viscosidad de: 64.2 cSt a 40°C.
5. El conteo de partículas, que es lo que en realidad nos interesa para conocer el nivel de limpieza del fluido, indica un código ISO 20/17 , así como la cantidad de partículas y el tamaño de estas.

CONCLUSIONES

1. El monitoreo de los niveles de contaminación de partículas es una herramienta de diagnóstico muy importante para valorar el rendimiento de los filtros y la condición de los sistemas hidráulicos.
2. A través de la guía de control de contaminación, se facilitan los trabajos de mantenimiento para los sistemas hidráulicos, ya que éste proporciona un claro panorama de las condiciones de funcionamiento de dichos sistemas.
3. La tecnología de los laboratorios de análisis de aceite, se convierte en la herramienta que el mantenimiento mecánico necesita para perfeccionar sus técnicas y conocimientos de monitoreo.
4. La contaminación de partículas según norma ISO 4406, es definitivamente un aspecto muy importante que requiere especial atención, ya que al ser ignorada ocasiona problemas continuos resultado de los diferentes tipos de desgaste mecánico.
5. El conocimiento científico y técnico facilita al departamento de mantenimiento mecánico a solucionar los problemas de desgaste y contaminación, ya que con un personal calificado se puede lograr un control de las condiciones de operación de los sistemas hidráulicos, conocer el estado del aceite, los contaminantes, extender la vida de servicio del equipo, etc.

RECOMENDACIONES

1. La selección óptima para la filtración de los sistemas hidráulicos es realizar una combinación de filtraje entre las líneas de presión y de retorno. Los sistemas de lubricación se protegen con mejores resultados, utilizando filtros instalados en la línea de presión. Los filtros en la línea de retorno, se utilizan pocas veces en los sistemas, debido a que existen restricciones de caída de presión.
2. Para todos los sistemas, los filtros para el respiradero de aire deben ser instalados para detener el ingreso de contaminantes transportados por el aire al depósito y para que el aceite hidráulico nuevo sea prefiltrado al ser suministrado. Todas estas aplicaciones necesitan la capacidad de filtrado que satisfaga los objetivos de limpieza, para hacer efectiva la vida de servicio de los componentes.
3. La instalación de un sistema de filtración debe ser segura, funcional, sencilla, y que permita monitoreos y reparaciones fáciles. Al seleccionar las características de instalación, dependerá de los parámetros del sistema dado en cada ubicación de los filtros. Se deben considerar los siguientes parámetros que determinan las características de una instalación:
 - Presión del sistema y tiempo por ciclo
 - Costos por tiempo muerto del sistema
 - Ubicación de los filtros y componentes sensibles
 - Cantidad de caudal y viscosidad del fluido hidráulico
 - Disposición y tamaño de la tubería
 - Tipo de fluido y temperatura de operación

4. Inspeccionar los elementos del sistema bajo normas estrictas de mantenimiento ya que incluso los sistemas de filtración bien diseñados pueden dar problemas en mantener la limpieza adecuada para el sistema hidráulico si el rendimiento de los elementos se deteriora antes de que tenga lugar un descenso de presión. Esto ocurre especialmente cuando los filtros están expuestos a condiciones drásticas, tales como un caudal constante, aumentos de presión y arranques con alta viscosidad.

5. Para evitar el uso de filtros cuyo rendimiento empeora bajo las condiciones variables de un sistema, los equipos hidráulicos necesitan perfeccionarse con filtros de amplias especificaciones. Dichas especificaciones deben satisfacer las siguientes condiciones de prueba ISO para asegurar la confiabilidad y consistencia en el rendimiento de un filtro que se quiera utilizar.

6. Tanto si se confía en el conteo de partículas en el laboratorio, o en el método de la prueba de fragmentos, al tomar la muestra de aceite, se debe tener la precaución de utilizar solamente botellas limpias y las técnicas apropiadas de muestreo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Corvalan, Adolfo y Román Galvez. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Mecánica
<http://cipres.cec.uchile.cl/~rgalvez/visco.htm> . Consultado julio de 2000.
2. Gulf Canada Products Company . **The Gulf guide to Hydraulics**. 1982.
3. Pavlat, Mark R., Pall Industrial Hydraulics Corp. **Improving the reliability of mill hydraulic and lube systems thru total cleanliness control**. 1990.
4. Rabinowicz, E. **Documento presentado a la Sociedad Americana de Ingenieros de Lubricación en manufactura de rodamientos**. 1981.
5. W.M.,Needelman . **Filtration for wear control. Wear control handbook**. ASME New York , 1980.

APÉNDICES

Sobre los filtros

Integridad de fabricación del elemento (ISO 2942)

Existe una presión mínima de aire establecida (punto de burbuja) en la cual no brotan burbujas de el probador de filtros, indicando con esto, que el filtro es aceptable para ser usado y para ser sometido a pruebas más avanzadas.

Caudal y caída de presión (ISO 3968)

Está especificada para los filtros una caída de presión permisible, para ciertos valores de caudal y viscosidad del fluido.

Resistencia al fracaso/explosión del elemento (ISO 2941)

Existe una caída de presión máxima establecida en la cual no se observa ninguna evidencia de falla estructural, de sellos o del elemento filtrante.

Compatibilidad del fluido (ISO 2943)

Está definida una temperatura máxima de operación para algunos fluidos determinados en donde

- 1) no hay evidencia visual de una falla estructural y
- 2) el filtro mantiene su presión de fracaso/explosión cuando es sometido a la prueba ISO 2941.

Resistencia al fluido por fatiga (ISO 3724)

Está establecido un número mínimo de ciclos de fatiga por caudal, para una caída de presión y tasa de caudal específicas en donde 1) no existe evidencia visual de fallas estructurales y 2) el filtro mantiene su presión de fracaso/explosión cuando se somete a la prueba ISO 2941.

Desempeño de filtración en circulación múltiple (ISO 4572)

Una proporción de filtración mínima (Beta) y de la capacidad de retención de suciedad están definidas por la norma ISO 4572 (modificada para los filtros de control de sedimentos que utilizan contadores calibrados de partículas de acuerdo con la norma ISO 4402).

Sobre análisis de aceites

Conocimiento científico y técnico

Un aspecto necesario para el proceso de control de contaminación, es permitir que los conocimientos técnicos sobre los lubricantes y filtros, se conviertan en parte integral del programa. En estos días, el departamento de mantenimiento en una empresa necesita estar aliado con la información necesaria en lo que se refiere a alta tecnología de lubricantes y filtros, así como también un alto grado de conocimiento científico y técnico aplicable a los sistemas que requieran de un trabajo de mantenimiento profesional.

Los métodos de apoyo para una empresa que utiliza sistemas hidráulicos, incluyen:

Respaldo científico y técnico

- Seminarios sobre el control de contaminación para los ingenieros y demás personal de mantenimiento.
- Análisis de aceite inmediatos para la solución de problemas.
- Servicios científicos y de laboratorio para los análisis superiores de la contaminación del aceite relacionada con problemas del sistema.
- Programas de reducción del inventario, para minimizar la cantidad de elementos en la bodega de repuestos.
- Conocimientos en la eliminación de desgaste de las piezas.

Respaldo de Campo

- Innovación de las especificaciones para los aceites y de los parámetros de limpieza del aceite.
- Supervisión del equipo para evaluar la efectividad de los componentes del sistema.
- Recomendaciones a los técnicos para mejorar los niveles de limpieza del sistema.
- Habilidad para localizar, seleccionar y especificar el rendimiento de los filtros.
- Análisis sin costo, para nuevas instalaciones de filtración.
- Asistencia inmediata durante las pruebas con lubricantes y filtros, y al arrancar el equipo con éstos.
- Inspecciones de la instalación para asegurar la seguridad y la operación efectiva del sistema.