



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

PRINCIPIOS SOBRE FILTRACIÓN
EN SISTEMAS HIDRÁULICOS DE ACEITE

Hugo Rodolfo Meza Yela

Asesorado por Ing. Pablo Rolando Ortega Lainfiesta

Guatemala, abril de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRINCIPIOS SOBRE FILTRACIÓN
EN SISTEMAS HIDRÁULICOS DE ACEITE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HUGO RODOLFO MEZA YELA

ASESORADO POR ING. PABLO ROLANDO ORTEGA LAINFIESTA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2005

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	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Chinchilla Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Luis Pineda Sánchez
EXAMINADOR	Ing. Osmar Omar Rodas Mazariegos
SECRETARIO	Ing. Edgar José Aurelio Bravatti Castro

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PRINCIPIOS SOBRE FILTRACIÓN EN SISTEMAS HIDRÁULICOS DE ACEITE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 31 de agosto de 1992.

Hugo Rodolfo Meza Yela

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS Por darme la voluntad para culminar este anhelo

MIS PADRES Hugo y Ma. Antonia
Por su amor y múltiples esfuerzos

MI ESPOSA Roxana
Por ser la inspiración que impulsa mi vida

MIS HIJAS Teresita y Marisol
Con todo mi amor y que este triunfo les sirva
como incentivo en su vida

MIS HERMANOS Rafael, Thelma, Victoria y Rosario
Por su solidaridad y apoyo

MI PATRIA Guatemala

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS

A mi papá Hugo Meza Padilla, por ser el ejemplo de hombre que siempre he de seguir

A mi mamá Ma. Antonia Yela, por todo el amor que me dió

A mi hermano Rafael, por su apoyo y valiosa colaboración para la realización de este trabajo

Al Ingeniero Pablo Ortega, asesor y amigo

Al Ingeniero Carlos Húmberto Pérez Rodríguez, por su apoyo y colaboración

A mis amigos

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA	1
1.1.Introducción	1
1.2.Viscosidad	2
1.2.1. Viscosidad absoluta o dinámica	2
1.2.2. Viscosidad cinemática	3
1.3.Presión	4
1.4.Densidad	5
1.5.Leyes de fluidos	6
1.5.1. Fuerzas hidrostáticas	6
1.5.2. Ecuación de continuidad	7
1.5.3. Ecuación de la energía	7
1.5.4. Principio de la cantidad de movimiento	9
1.5.5. Flujo con fricción en tubos cerrados	9
1.6.Temperatura y velocidad	12
2. ACEITES	15
2.1.Definición	15
2.2.Fabricación	15
2.3.Tipos	18

2.3.1.	Aceites de petróleo o minerales	18
2.3.2.	Fluidos sintéticos	19
2.3.3.	Aceites animales y vegetales	20
2.4.	Análisis de aceites	20
2.5.	Usos: lubricación, medio de transmisión, etc.	25
3.	FILTRACIÓN	27
3.1.	Concepto	27
3.2.	Importancia	27
3.3.	Tipos de filtración	29
3.4.	Tipos de contaminantes	30
3.4.1.	Agua	31
3.4.2.	Metales	31
3.4.3.	Oxidación	32
3.4.4.	Otros tipos de aceite	32
3.4.5.	Combustibles	32
3.4.6.	Bacterias	33
3.5.	Efectos del tipo y tamaño de las partículas	33
3.5.1.	Falla catastrófica	33
3.5.2.	Falla intermitente	33
3.5.3.	Falla por degradación	35
3.6.	Especificando los niveles de contaminación	35
4.	FILTRACIÓN CONTINUA	39
4.1.	Concepto	39
4.2.	Tipos	39
4.2.1.	Al lado de succión de la bomba	39
4.2.2.	En la línea de presión	41
4.2.3.	En la línea de retorno	44

5.	FILTRACIÓN PERIÓDICA	47
5.1.	Concepto	47
5.2.	Tipos	48
5.2.1.	Sistemas fijos de filtración fuera de línea	48
5.2.2.	Filtración fuera de línea portátil	50
6.	IMPORTANCIA ECONÓMICA	51
6.1.	Análisis de costos	51
6.2.	Costos Directos, Indirectos y Totales de mantenimiento	51
6.3.	Influencia de la filtración en los costos de mantenimiento	53
6.4.	Control de costos	54
6.5.	Análisis de un caso real en una máquina inyectora de plástico	55
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fuerzas hidrostáticas	6
2.	Ecuación de la energía	8
3.	Diagrama de coeficientes de fricción vrs. número de Reynolds	11
4.	Esquemático de torre refinación	16
5.	Diagrama de sistema hidráulico típico	34
6.	Filtro de presión delante de válvula de alivio	41
7.	Filtro de presión sin <i>bypass</i>	42
8.	Filtro de presión ubicación típica	43
9.	Filtro en línea de retorno	45
10.	Sistema de filtración fijo fuera de línea	49
11.	Costos de Mantenimiento	52
12.	Sistema de filtración con <i>bypass</i>	55

TABLAS

I.	Niveles sugeridos de contaminación en sistemas hidráulicos	37
II.	Taza de flujo según las condiciones ambientales	49

GLOSARIO

Abrasivo	Sólido estructuralmente duro y resistente.
Absoluto (grado)	El grado de un filtro viene dado en forma directa por la capacidad de interceptación de contaminación. El grado debe ser basado en una prueba de integridad física que ha sido confirmada por comparación con un contaminante conocido específico.
Absoluto	Término arbitrario usado para describir o definir un grado de filtración. La industria de la filtración usa varios métodos para determinar los grados absolutos, los cuales no necesariamente son intercambiables.
Absorbente	Es un elemento de filtro que detiene los contaminantes por medios mecánicos. Cuando una sustancia se satura completamente con otra, algunas veces bajo un cambio químico.
Absorción	Es el fenómeno por el cual un fluido es sostenido entre los espacios intersticiales de algún medio. El fluido no está limitado por el medio, pero es sostenido dentro de este por una especie de esponja.

Adsorbente	Medio filtrante primariamente destinado a detener contaminantes solubles e insolubles sobre su superficie por medio de adhesión molecular sin cambios químicos.
Adsorción	Débiles fuerzas físico químicas que provocan que las partículas o moléculas se retengan sobre la superficie del medio. Estas fuerzas (probablemente de Van der Waal) son pobremente definidas, pero generalmente tienen una buena relación al área superficial. Por ejemplo, el carbón activado tiene 100m ² de área superficial por gm. de peso seco, siendo un buen adsorbente.
Afluente	Se refiere al fluido que se encuentra antes de la entrada a un filtro.
Área efectiva	Área del medio filtrante a través de la cual el fluido puede pasar.
Área extendida	Diseño del perfil de un elemento filtrante para incrementar su área efectiva por arriba de un simple cilindro del mismo tamaño.
Área superficial	Área total de un elemento que está expuesto a la aproximación de un fluido.
<i>Bypass</i>	Condición resultante del flujo de un fluido a través de una ramificación distinta de la que contiene al medio filtrante. También se refiere al sistema de filtración que permite filtrar solamente una parte del fluido contenido en un depósito.

Capacidad de retención	Se refiere a la cantidad de contaminante que un elemento puede retener antes de alcanzar el máximo permitido de caída de presión. El volumen puede variar dependiendo del tamaño y diseño del elemento y la densidad de las partículas sólidas. Usualmente se reporta en peso tal como gramos o libras por elemento. También es conocida como capacidad de retención de sólidos.
Características de flujo	Definidas por el volumen de flujo, caída de presión, viscosidad y temperatura.
Carcaza	Contenedor para un elemento de filtro.
Cartucho	Elemento poroso, usualmente montado en una carcaza, el cual permite o efectúa el proceso de filtración.
Centrifugación	Método mecánico de separación basado en la diferencia de gravedades específicas de los materiales a tratar. A menudo utilizado como pretratamiento para la filtración de alimentos.
Clarificación	Filtración de líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos suspendidos, el filtrado separa la mayoría de estos sólidos, incrementado la claridad del líquido.
Coloide	Sustancia gelatinosa que en disolución se difunde con lentitud extraordinaria y que aún no ha sido filtrada.
Contaminante	Indeseable partícula insoluble presente en un fluido o gas.

Densidad	Peso por unidad de volumen de una sustancia (peso específico).
Destilación	Técnica para la purificación de líquidos volátiles. En el caso del agua, el material es calentado y purificado, los vapores de agua luego son condensados y colectados. Los sólidos no volátiles y de alto peso molecular permanecen en la caldera.
Dieléctrico	Sustancia que no es conductora de la electricidad. No conductor.
Distribución	Tabulación resultante de un conteo particular de sólidos agrupados por tamaño especificado en micrones para determinar la condición de un afluente o efluente, usualmente expresado en porcentaje del total de sólidos por grupo específico.
Efluente	Corriente de fluido a la salida de un filtro.
Eficiencia	Es el porcentaje de remoción de partículas después de pasar a través de un sistema de filtrado, a menudo referido a un tamaño específico de partícula o al conteo de partículas acumulado.
Elemento	Parte porosa de un filtro que efectúa el proceso de filtración.

Estallido	Falla en la estructura externa de un filtro causado por un diferencial de presión excesivo.
Fibra	Material flexible con dos dimensiones relativamente pequeñas y una larga. Cualquier partícula con un largo al menos tres veces más grande que su largo.
Filtración	Proceso de separación de partículas de un fluido, ya sea líquido o gaseoso, haciéndolo pasar a través de un medio que no permite pasar las partículas.
Filtración a pleno flujo	Sistema de filtración que hace pasar todo el fluido que es bombeado desde o hacia superficies gastadas o estaciones de trabajo en cada paso.
Filtrado	Líquido que sale de un filtro.
Filtro bloqueado	Condición de un filtro cuando ha colectado su máxima capacidad de contaminantes y no es posible que pase más fluido.
Filtro de borde	Medio filtrante con pasajes formados por superficies adyacentes de discos apilados, bordes de bobinas de goma o filamentos de capa simple. Estos bordes afilados separan los sólidos de los líquidos.

Filtro hepa	(High Efficiency Particulate Air Filter). Filtro compuesto de micro fibras de vidrio corrugadas, comprimidas y adheridas para formar un medio de filtrado de gran superficie en un pequeño panel normalmente utilizado en flujos de aire laminar.
Fluido	Líquido o gas que puede ser filtrado haciéndolo pasar a través de un filtro.
Golpe de ariete	Fuerza muy grande producida por la rápida interrupción de un flujo lineal de un fluido no compresible, comúnmente ocurre cuando son cerradas válvulas de accionamiento rápido en líneas de alto caudal. Es la causa más común de la destrucción de filtros en sistemas automáticos.
Grado de filtración	Finura de un medio filtrante, tamaño de la partícula más pequeña que se puede retener.
Hidráulica	Ciencia que estudia los fluidos en reposo o en movimiento.
Lecho	También llamado torta, se refiere a la masa de impurezas que se acumulan en el elemento de un filtro.
Medio	Material poroso o masa ranurada en un elemento de filtro que sirve para separar sólidos de un fluido por diferencia de tamaño entre las aberturas y el contaminante.

Micrón	Unidad de longitud igual a una millonésima de metro o 0.000039 pulgadas, 25 micrones equivalen aproximadamente a 0.001 pulgadas. Su símbolo es μ ó μm .
Presión	Es la fuerza por unidad de área ejercida por un fluido.
Presión, caída de	La caída de presión a través de un filtro se refiere a la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del mismo.
Presión de colapso	Presión a la cual se somete un elemento de filtro (cartucho) que provoca el colapso del mismo.
Presión de operación	Presión a la cual el filtro es operado normalmente.
Presión diferencial	Diferencia de presión entre dos puntos, generalmente medida a la entrada y la salida de un filtro, separador, etc. Normalmente medida en libras por pulgada cuadrada (psi)
Presión manométrica	Cualquier presión mayor que la presión atmosférica medida con un manómetro de presión.
Puente	Condición de un elemento de filtro cargado en el cual los contaminantes ocupan el espacio entre secciones adyacentes del elemento, bloqueando una porción del área utilizable de filtración.

Punto de burbuja	Se refiere a la prueba que se efectúa para asegurar o confirmar el tamaño máximo de poro o la integridad de un filtro de membrana. El filtro es humedecido y ensamblado dentro de una carcasa. Se suministra aire contracorriente a presión predeterminada y el operador observa el momento en que una burbuja de aire sale del filtro, que está conectado con un tubo dentro de un recipiente con agua. La presión a la que la primera burbuja sale es llamada “punto de burbuja”, y el valor es chequeado contra las especificaciones existentes.
Radio de área abierta	Se refiere al radio de área porosa de un medio filtrante expresado como porcentaje del área total.
Retrolavado	Limpiar un elemento de filtro revirtiendo la dirección del flujo a través del mismo.
Separador	Dispositivo cuya función principal es aislar los contaminantes por medio de propiedades físicas distintas del tamaño.
Separador magnético	Separador que usa un campo magnético para atraer y sostener partículas ferrosas.
Vacío	Referencia a la presión menor que la atmosférica.
Válvula de <i>bypass</i>	Válvula dentro de un filtro que sirve para limitar la presión diferencial permitida a través del elemento filtrante.

RESUMEN

Debido al poco énfasis que sobre el cuidado de los aceites se hace al estudiante durante la carrera, es común encontrar profesionales que le dan poca o ninguna importancia al mismo, en detrimento de los equipos que se han puesto bajo su responsabilidad.

En el presente trabajo, se pretende dar una guía básica para el profesional interesado en la optimización del uso de aceites hidráulicos. Esta investigación se inicia haciendo un repaso de los principios básicos de hidráulica, para luego pasar a revisar los diferentes tipos de aceite con que cuenta la industria actualmente, sus distintas aplicaciones, características principales y los análisis necesarios para garantizar su durabilidad. Luego se presenta la forma en que se puede mejorar un sistema hidráulico de aceite a través de un sistema adecuado de filtración, haciendo una descripción de qué es y cuáles son los métodos de filtración más utilizados, así como de los niveles y tipos de contaminantes permitidos para cada aplicación.

Finalmente, se hace un repaso de cómo se integran los costos totales de mantenimiento para que el interesado pueda hacer una buena evaluación del sistema que debe aplicar sin perder de vista el objetivo principal de toda operación productiva, es decir, alcanzar el máximo rendimiento con el mínimo de inversión.

OBJETIVOS

General

Orientar tanto al estudiante como al profesional sobre el cuidado que debe tener con los aceites de los equipos que tiene bajo su responsabilidad, como primer paso del programa de mantenimiento que garantizará el buen funcionamiento de los mismos.

Específicos

1. Enfatizar sobre la importancia de la filtración en los sistemas hidráulicos
2. Presentar algunas opciones sencillas pero efectivas en el cuidado de los aceites a través de un adecuado control de los niveles de contaminación dentro de los sistemas hidráulicos.
3. Ayudar en forma práctica y económica a seleccionar sistemas adecuados de filtración de acuerdo a los parámetros requeridos por los fabricantes de aceites y equipos.

INTRODUCCIÓN

La selección de un filtro y su apropiada localización en un sistema hidráulico requiere de tanto cuidado y experiencia como la selección de cualquiera de los otros componentes, tales como bombas, válvulas y cilindros. Muchos diseñadores no ven más allá de los catálogos de los fabricantes de filtros, con poca o ninguna consideración de los requerimientos particulares de cada sistema. Los parámetros usados para seleccionar un filtro son normalmente establecidos por las necesidades de presión, flujo y tamaño de partícula a filtrar. Esto asegurará que el filtro no explotará o tendrá fugas debido a exceso de presión, y que las velocidades de flujo y caídas de presión recomendadas no son excedidas. Sin embargo, sin considerar eficiencias de filtración o la capacidad para sostener suciedad, no se puede asegurar que la contaminación en el sistema es mantenida a niveles aceptables.

Reconocidamente, el enfoque de prueba y error descrito arriba, a menudo alcanza un resultado aceptable, pero sabiendo que más del 70% de las fallas en sistemas hidráulicos son debidas a la pobre condición de los fluidos, se ve que existe una gran necesidad por mejorar los métodos de control de los niveles de contaminación.

Para poder alcanzar la protección más efectiva, siendo constantes con la economía, primero se debe definir una meta. Esta es, no simplemente separar las partículas más grandes de un tamaño determinado arbitrariamente, sino que, se debe alcanzar niveles estables de contaminación aceptables y apropiados para cada parte del sistema. Por un nivel estabilizado de contaminación se entiende que: “la suciedad que entra” debe ser igual a “la suciedad que sale” recolectada por el sistema de filtros.

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

1.1. Introducción

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que ésta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural, sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

Muy pocos problemas de mecánica de fluidos pueden ser resueltos por métodos matemáticos convencionales; la gran mayoría de estos problemas necesitan métodos de resolución basados en coeficientes determinados experimentalmente. Muchas fórmulas empíricas han sido propuestas como soluciones a diferentes problemas de flujo de fluidos por tuberías, pero son muy limitadas y pueden aplicarse sólo cuando las condiciones del problema se aproximan a las condiciones de los experimentos de los cuales derivan las fórmulas.

Debido a la gran variedad de fluidos que se utilizan en los procesos industriales modernos, una ecuación que puede ser usada para cualquier fluido ofrece ventajas obvias. Una ecuación de este tipo es la fórmula de Darcy-Weisbach, que puede ser deducida por un análisis dimensional; sin embargo, una de las variables en la fórmula, el coeficiente de fricción, debe ser determinado experimentalmente. Esta fórmula tiene una extensa aplicación en el campo de la mecánica de fluidos.

1.2. Viscosidad

La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. La melaza es un fluido muy viscoso en comparación con el agua; a su vez, los gases son menos viscosos en comparación con el agua.

Existe gran confusión respecto a las unidades que se utilizan para expresar la viscosidad; de ahí la importancia de utilizar las unidades adecuadas cuando se sustituyen los valores de viscosidad en las fórmulas.

1.2.1. Viscosidad absoluta o dinámica

La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (Pa s) o también newton segundo por metro cuadrado (N s/m²), o sea kilogramo por metro segundo (kg/ms). Esta unidad se conoce también con el nombre de *poiseuille* (Pl) en Francia, pero debe tenerse en cuenta que no es la misma que el poise (P) descrita a continuación.

El poise es la unidad correspondiente en el sistema CGS de unidades y tiene dimensiones de dina segundo por centímetro cuadrado o de gramos por centímetro segundo. El submúltiplo centipoise (cP), 10⁻² poises, es la unidad más utilizada para expresar la viscosidad dinámica y esta situación parece que va a continuar durante algún tiempo. La relación entre el pascal segundo y el centipoise es:

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2 = 1 \text{ kg/ms} = 10^3 \text{ cP} \quad (1)$$

1.2.2. Viscosidad cinemática

Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m^2/s). La unidad CGS correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt), 10^{-2} stokes, que es el submúltiplo más utilizado.

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ cSt} \quad (2)$$

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (3)$$

$$\text{Centistokes} = (\text{centipoise})/(\text{gramos}/\text{cm}^3) \quad (4)$$

La medida de la viscosidad absoluta de los fluidos (especialmente de gases y vapores) requiere de instrumental adecuado y de una considerable habilidad experimental. Por otro lado, se puede utilizar un instrumento muy simple, como es un viscosímetro de tubo, para medir la viscosidad cinemática de los aceites y otros líquidos viscosos. Con este tipo de instrumento se determina el tiempo que necesita un volumen pequeño de líquido para fluir por un orificio y la medida de viscosidad cinemática se expresa en términos de segundos.

Se usan varios tipos de viscosímetros de tubo con escalas empíricas tales como Saybolt Universal, Saybolt Furol (para líquidos muy viscosos), Redwood No.1 y No.2 y Engler.

El cuadro normalizado por ASTM de temperatura-viscosidad para productos líquidos de petróleo, se usa para determinar la viscosidad Saybolt Universal de un producto de petróleo, a cualquier temperatura, cuando se conocen las viscosidades a dos temperaturas diferentes. Se observa que al aumentar la temperatura, la viscosidad de los líquidos disminuye y la viscosidad de los gases aumenta.

El efecto de la presión sobre la viscosidad de los líquidos y de los gases perfectos es tan pequeño que no tiene interés práctico en la mayor parte de problemas de flujo de fluidos. La viscosidad de los vapores saturados o poco recalentados es modificada apreciablemente por cambios de presión.

1.3. Presión

La presión es el término más importante en la mecánica de fluidos. El movimiento del fluido y las fuerzas en el equipo debidas al mismo dependen básicamente de la presión. Por definición, la presión es la fuerza por unidad de área de la superficie con la cual el fluido está en contacto, y siempre actúa en sentido normal a la superficie considerada:

$$P = F/A = wH \quad (5)$$

Donde:

P = intensidad de la presión, lb/ft² (kg/m²)

F = fuerza total que actúa sobre una superficie, lb (kg)

A = área de la superficie, ft² (m²)

W = densidad del fluido, lb/ft³ (kg/m³)

H = carga = altura de la superficie libre del fluido por arriba de cierto punto de la superficie, ft (m)

La última parte de la ecuación (5) emana en realidad de los principios de la hidrostática, en la cual la única energía disponible proviene de la carga estática de la columna de fluido. En esta forma la presión hidrostática en un punto es igual a la presión creada por la altura de la columna de fluido por arriba de ese punto. Ya que la densidad de los gases suele ser muy pequeña comparada con la de los líquidos, la presión hidrostática de los gases se desprecia generalmente en la ingeniería práctica a menos que se desee un nivel muy alto de precisión.

Una atmósfera estándar (la presión atmosférica) se toma como 14.7psia (libras por pulgada cuadrada absoluta), o 34 pies de una columna de agua, o 760 mmHg (29.92inHg). La palabra absoluta se emplea con referencia a la presión cero. Un manómetro mide y muestra casi siempre la presión relativa con respecto a la atmósfera. En esta forma un manómetro que lee cero en realidad da una presión exactamente igual a la presión atmosférica prevaleciente. En la mecánica de fluidos, a menos que se mencione específicamente de otra manera, se sobreentienden las presiones manométricas. Así, una presión dada como 30 lb/in² significa automáticamente 30 psig (lbs por pulgada cuadrada manométricas). Sin embargo, debe tenerse en mente que debe utilizarse unidades coherentes cuando se trabaja solucionando problemas con ayuda de ecuaciones.

1.4. Densidad

La densidad o peso específico w de una sustancia es el peso de un volumen unitario de la sustancia. Para el agua, tenemos que $w = 62.4 \text{ lb/ft}^3$ (999.6 kg/m^3) ($1\text{g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$).

$$\text{Densidad de masa} = \delta = \text{masa/unidad volumen} = w/g \quad (6)$$

Donde:

$g = \text{aceleración debida a la gravedad,} = 32.2 \text{ ft/s}^2$ (9.81 m/s^2)

$G_f = \text{densidad relativa} = \text{gravedad específica} = \frac{\text{peso de la sustancia en el aire}}{\text{peso de un volumen igual de agua}}$

1.5. Leyes de fluidos

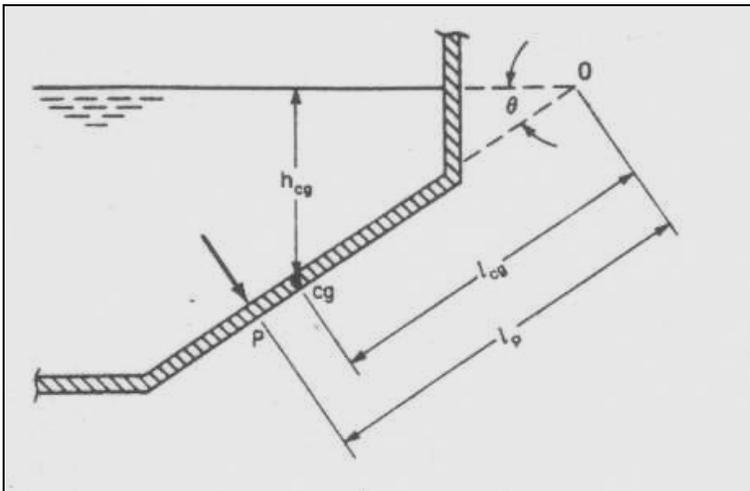
1.5.1. Fuerzas hidrostáticas

Considérese una superficie plana inclinada (con área A) de un tanque que contiene un líquido como se muestra en la figura 1-1. El centro de gravedad del plano está en un punto cg . El punto O corresponde a la intersección del plano (extendido si es necesario) y la superficie del líquido. La otra nomenclatura se aclara en la figura. Entonces la fuerza hidrostática total F (siempre normal a la superficie) sobre la superficie inclinada y en su punto de acción P está dada por:

$$F = wh_{cg}A \text{ lb (kg)} \quad (7)$$

$$l_p = l_{cg} + I_{cg}/Al_{cg} = I_o/Al_{cg} \text{ ft (m)} \quad (8)$$

Figura 1. Fuerzas hidrostáticas



Donde:

I_{cg} = segundo momento del área alrededor del centro de gravedad del plano

I_o = momento de inercia alrededor del punto O

1.5.2. Ecuación de continuidad

Sin entrada ni salida de flujo de un subsistema, el gasto de masa corriente arriba y corriente abajo son iguales; por ejemplo,

$$M_1 = M_2 \quad (Q_1 = Q_2 \text{ si densidad es constante}) \quad (9)$$

$$\text{ó} \quad \delta_1 A_1 V_1 = \delta_2 A_2 V_2 \quad (10)$$

Si un ramal entra en un punto del subsistema, el flujo total de salida del punto es igual a la entrada total en el punto, por ejemplo,

$$M_1 + M_2 = M_3 \quad (11)$$

1.5.3. Ecuación de la energía

Considérese el flujo en un conducto cerrado de sección transversal circular no uniforme (figura 2). Considérese también dos secciones transversales 1 y 2 de este conducto con las siguientes cantidades aplicables a ellas:

p_1 = presión en la sección transversal 1, lb/ft² (kg/m²)

p_2 = presión en la sección transversal 2, lb/ft² (kg/m²)

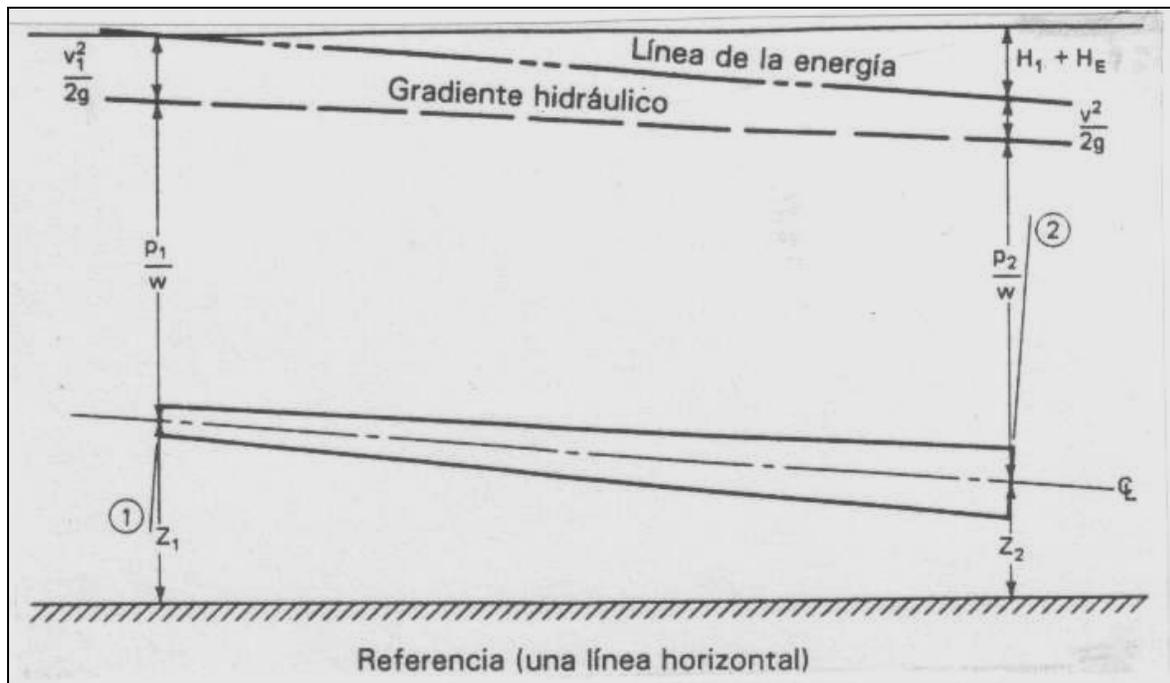
v_1 = velocidad en la sección transversal 1, ft/s (m/s)

v_2 = velocidad en la sección transversal 2, ft/s (m/s)

z_1 = altura de la sección transversal 1, con respecto al plano de referencia, ft (m)

z_2 = altura de la sección transversal 2, con respecto al plano de referencia, ft (m)

Figura 2. Ecuación de la energía



Estas cantidades tienen como referencia la línea central del conducto. Entonces, en términos de carga, la ecuación de energía es:

$$p_1/w + V_1^2/2g + z_1 = p_2/w + V_2^2/2g + z_2 + H_1 + H_e \quad (12)$$

Donde:

H_1 = pérdidas de carga en el flujo, como fricción, ft (m)

H_e = energía de carga extraída del sistema (neg. si la energía fue agregada), ft (m)

Si H_1 y H_e son cero, como en un flujo ideal, la ecuación remanente (12) también se llama teorema de Bernoulli. Cada miembro de la ecuación (12) es igual a la energía total en el sistema.

La energía total debe ser constante, de modo que la gráfica de ambos lados de la ecuación (12) cae en una línea horizontal que representa la energía total del sistema. Si H_1 y H_e se excluyen de la ecuación, se tiene entonces una línea de energía neta. Si se excluye también la carga de velocidad, se obtiene entonces la línea del gradiente hidráulico, que representa el gradiente de la presión hidrostática.

1.5.4. Principio de la cantidad de movimiento

De acuerdo con la segunda ley de Newton, tenemos:

Fuerza por la cantidad de movimiento = rapidez de cambio de la cantidad de movimiento en una dirección

Fuerza por la cantidad de movimiento = cantidad de movimiento inicial – cantidad de movimiento final en esa dirección

Fuerza por la cantidad de movimiento = $wg/g V_1 - wg/g V_2$ lb (kg) (13)

Por lo tanto, la fuerza total sobre un elemento será la suma de la fuerza de presión, pA , definida la ecuación (5) y la de la cantidad de movimiento dada por la ecuación (13), consideradas ambas en la misma dirección.

1.5.5. Flujo con fricción en tubos cerrados

El flujo en un tubo se considera cerrado y a presión si la superficie del fluido no está expuesta a la presión atmosférica. En condiciones reales siempre hay una resistencia al flujo que causa una pérdida de la carga de presión (básicamente, esta pérdida de energía se convierte en calor y usualmente se disipa).

La ecuación más utilizada para las pérdidas de carga debidas a la fricción, H_L , es la de Darcy-Weisbach:

$$H_{Lf} = fLV^2/D \ 2g, \text{ ft(m)} \quad (14)$$

Donde:

f = coeficiente de fricción

D = diámetro de la tubería, ft (m)

L = longitud del tubo, ft (m)

El coeficiente de fricción f depende del material y de la rugosidad del tubo, y del número de Reynolds (N_R) del flujo:

$$N_R = VD/v = V4R/v \quad (15)$$

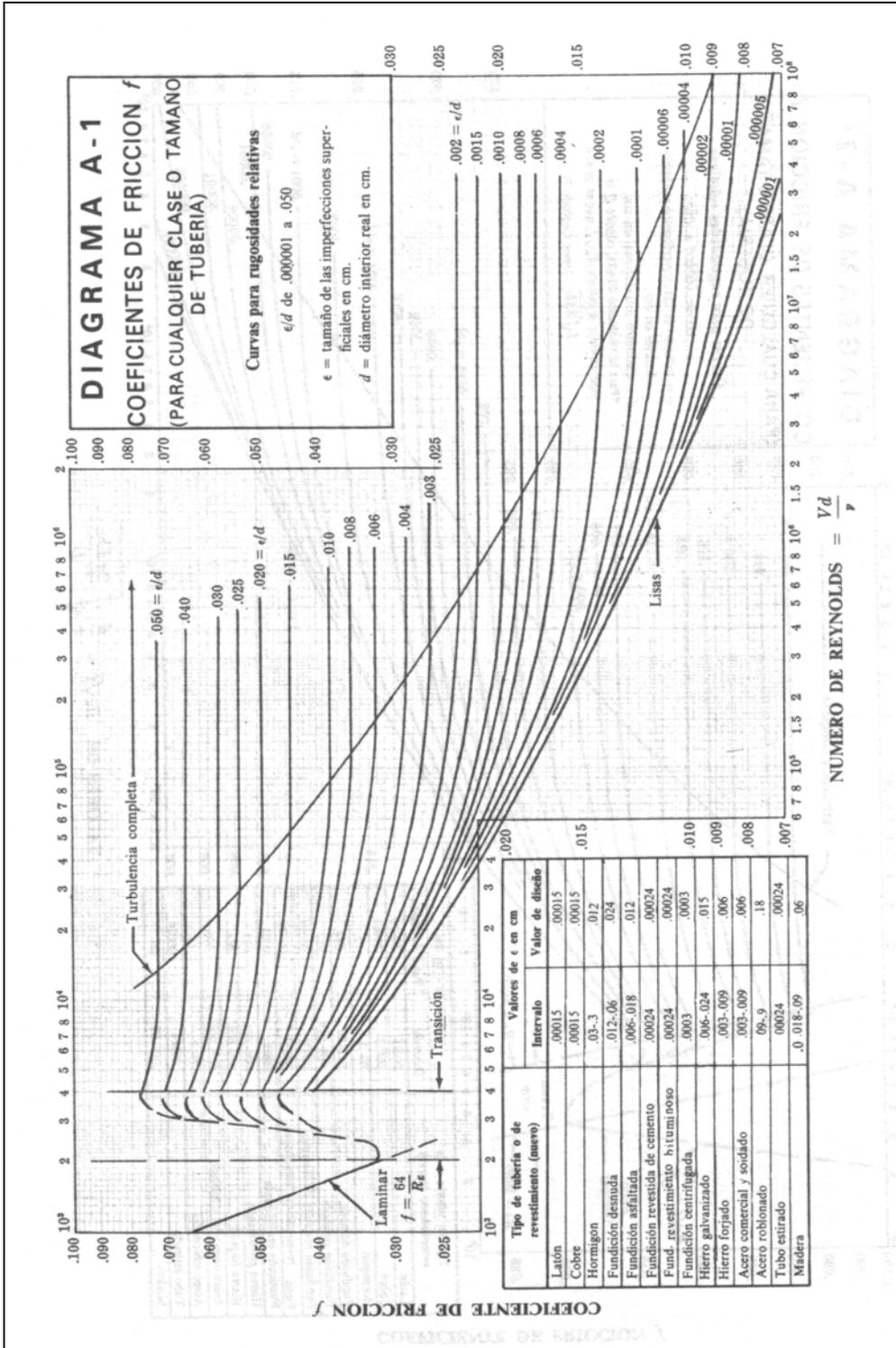
Donde:

R = radio hidráulico medio del flujo = $A/P = D/4$ para tubo, ft (m)

P = perímetro mojado de la frontera del flujo, ft (m)

La figura 3 es un diagrama para la determinación de f para cierto valor de N_R y rugosidad relativa. La curva más baja es para cualquier tubo llamado liso, es decir, con rugosidad despreciable.

Figura 3. Diagrama de coeficientes de fricción vrs. número de Reynolds



1.6. Temperatura y velocidad

La **temperatura** es un índice de la energía interna relativa de la masa. En un gas perfecto la temperatura es un verdadero índice de su actividad molecular. Un gas perfecto que no tuviese energía interna alguna se hallaría a la temperatura más baja que puede concebirse (-273.2°C), es decir, a la del cero absoluto. La temperatura es el potencial térmico causante del flujo calorífico.

En ingeniería se utilizan las escalas centígrada y Fahrenheit. En dichas escalas la temperatura de ebullición del agua pura es 100°C y 212°F , respectivamente, cuando la presión atmosférica es normal (1.033 kg/cm^2), y la congelación a la misma presión es 0°C y 32°F , respectivamente. La relación existente entre el punto de ebullición y de congelación del agua pura vale 100 grados en la escala centígrada (C) y 180 grados en la escala Fahrenheit (F). Por lo tanto se podrá escribir:

$$t_f = 180/100 t_c + 32 \quad (16)$$

$$t_c = 100/180 (t_f - 32) \quad (17)$$

Donde:

t_f = temperatura en grados Fahrenheit

t_c = temperatura en grados centígrados

El cero absoluto se halla a -273.2°C y -459.7°F (-273°C y -460°F para fines prácticos). De esta forma la temperatura absoluta Fahrenheit ($^{\circ}\text{F abs.}$) será:

$$^{\circ}\text{F abs} = ^{\circ}\text{F} + 460 = \text{R, denominado grados Rankine } (^{\circ}\text{R}) \quad (18)$$

y la temperatura centígrada absoluta ($^{\circ}\text{C abs}$) será:

$$^{\circ}\text{C abs} = ^{\circ}\text{C} + 273 = \text{K}, \text{ denominado grados Kelvin } (^{\circ}\text{K}) \quad (19)$$

La mayoría de las sustancias sólidas, líquidas y gaseosas se dilatan al aumentar su temperatura. Si esta dilatación es relativamente uniforme entre amplios límites, la sustancia puede utilizarse como medio termométrico en el supuesto que sean adecuadas otras propiedades. El mercurio es la más corriente de estas sustancias, porque posee un coeficiente de dilatación muy elevado, y como consecuencia puede leerse directamente pequeñas variaciones de temperatura sin necesidad de recurrir a una amplificación.

La **velocidad** tiene un efecto importante en el flujo de fluidos, ya que es la que establece la diferencia entre los distintos tipos de regímenes que se distinguen. Un experimento simple, muestra que hay dos tipos diferentes de flujo de fluidos en tuberías; el experimento consiste en inyectar pequeñas cantidades de fluidos coloreado en un líquido que circula por una tubería de cristal y observar el comportamiento de los filamentos coloreados en diferentes zonas, después de los puntos de inyección.

Si la descarga o la velocidad media es pequeña, las láminas de fluido coloreado se desplazan en líneas rectas. A medida que el caudal se incrementa, estas láminas continúan moviéndose en líneas rectas hasta que alcanzan una velocidad en donde las láminas comienzan a ondularse y se rompen en forma brusca y difusa, esto ocurre en la llamada velocidad crítica. A velocidades mayores que la crítica los filamentos se dispersan de manera indeterminada a través de toda la corriente.

El tipo de flujo que existe a velocidades más bajas que la crítica se conoce como régimen laminar y a veces como régimen viscoso. Este régimen se caracteriza por el deslizamiento de capas cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada. La velocidad del fluido es máxima en el eje de la tubería y disminuye rápidamente hasta anularse en la pared de la tubería.

A velocidades mayores que la crítica, el régimen es turbulento. En el régimen turbulento hay un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo; la distribución de velocidades en el régimen turbulento es más uniforme a través del diámetro de la tubería que en el régimen laminar. A pesar de que existe un movimiento turbulento a través de la mayor parte del diámetro de la tubería, siempre hay una pequeña capa de fluido en la pared de la misma, conocida como la **capa periférica** o **subcapa laminar**, que se mueve en régimen laminar. El término velocidad, a menos que se diga lo contrario, se refiere a la velocidad media o promedio de cierta sección transversal dada por la ecuación de continuidad para un flujo estacionario (ecuación 10).

2. ACEITES

2.1. Definición

Un aceite es una sustancia grasa, soluble en éter pero no en agua, que generalmente se halla en estado líquido a la temperatura ordinaria. Los aceites tienen un poder energético muy elevado, son más livianos que el agua y han adquirido una gran importancia en la industria. Pueden clasificarse por su origen en animales y vegetales, y por su comportamiento, en fijos y volátiles. Sin embargo, existen los aceites minerales, que proceden principalmente del petróleo, los que por su composición química difieren de los anteriores. Los aceites minerales tienen importantes aplicaciones industriales, sobre todo como lubricantes.

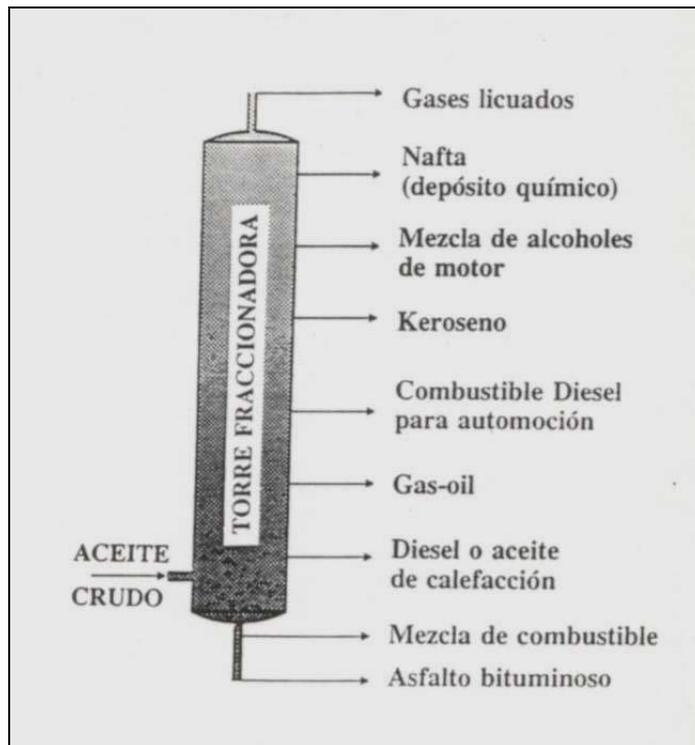
Durante el siglo XVI el aceite proveniente de la tierra fue conocido como aceite de roca y después como petróleo (del latín *Petra* que significa roca y *Oleum* aceite), cuyos principales constituyentes son el carbón y el hidrógeno, con pequeñas cantidades de azufre, oxígeno y nitrógeno; por lo que también se le conoce como hidrocarburo. El petróleo se forma de roca sedimentaria mediante la descomposición o cambios químicos de depósitos orgánicos naturales de origen marino o vegetal acumulados durante millones de años, los tres factores esenciales para su formación son: el calor, la presión y el tiempo.

2.2. Fabricación

El proceso básico de refinación del petróleo consiste en calentar el crudo en un horno a 400°C. de donde se pasa por una torre fraccionaria vertical alta a presión atmosférica o al vacío. El petróleo vaporizado sube por la torre la cual está equipada con bandejas horizontales donde se condensan los diferentes tipos de compuestos.

Los gases más ligeros en la parte superior y los más pesados abajo, luego cada uno de estos compuestos condensados se somete a procesos específicos posteriores. La figura 4 muestra un esquema simplificado de una torre de refinación.

Figura 4. Esquemático de torre de refinación



Durante el proceso de fabricación de los aceites es posible mejorar, a través de aditivos químicos, la capacidad natural que poseen para proteger las superficies metálicas, resistir los cambios químicos y expulsar los contaminantes.

Ya que los aceites industriales se suelen describir de acuerdo con los aditivos que contienen, servirá de ayuda entender la función de los tipos principales de aditivos. A continuación se dan las definiciones generales de algunos de los más comunes, listados en orden alfabético:

- **Abatidores del punto de fluidez.** Abaten el punto de fluidez de los aceites parafínicos de petróleo.
- **Agentes antiespumantes.** Promueven la ruptura rápida de las burbujas de espuma.
- **Agentes antisépticos o bactericidas.** Evitan el desarrollo de microorganismos y bacterias que se encuentran principalmente en los aceites solubles en agua.
- **Agentes contra el desgaste.** Disminuyen el coeficiente de fricción y reducen el desgaste en condiciones de lubricación de frontera o de película mezclada.
- **Agentes detergentes y dispersivos.** Evitan la formación de barnices y lodos. Se encuentran comúnmente en los aceites para motor.
- **Agentes ligantes.** Mejoran las cualidades adhesivas de un aceite.
- **Agentes para eliminar el aire.** Ayudan al aceite a liberar el aire atrapado.
- **Agentes para presión extrema.** Protegen contra el contacto de metal con metal y soldadura después de que la película de aceite se ha roto por cargas altas o velocidades de deslizamiento. La mayor parte de los aceites para presión extrema que hay en el mercado son del tipo de sulfuros fosforados y son no corrosivos para casi todos los metales, incluso el latón. Esto no era así en algunas de las primeras formulaciones y todavía existen al respecto muchos conceptos erróneos.
- **Compuestos grasos o de “Lubricidad”.** Mejoran la lubricidad o deslizabilidad de un aceite. Estos compuestos también son de ayuda para resistir el deslavado con agua.

- **Desemulsificadores.** Ayudan a la capacidad natural de un aceite para separarse rápidamente del agua. Estos agentes pueden ser de ayuda para evitar la herrumbre ya que tienden a mantener el agua fuera del aceite y de las superficies de metal.
- **Emulsificadores.** Permiten la mezcla de aceite y agua para formar emulsiones estables. Se utilizan principalmente en la manufactura de aceites solubles en agua.
- **Inhibidores de la herrumbre y corrosión.** Mejoran la capacidad de un aceite para proteger las superficies de metal contra la herrumbre y la corrosión.
- **Inhibidores de la oxidación.** Evitan o retardan la oxidación de un aceite y por ello reducen la formación de depósitos y ácidos.
- **Mejoradores del índice de viscosidad.** Aumentan el índice de viscosidad de un aceite por el incremento de su viscosidad a altas temperaturas. Estos aditivos se emplean mucho en los aceites de motor para crear los aceites multigrado.

2.3. Tipos

Los aceites pueden dividirse en tres tipos principales, los cuales son: aceites de petróleo, fluidos sintéticos y aceites animales o vegetales.

2.3.1. Aceites de petróleo o minerales

Los aceites de petróleo o minerales, refinados del petróleo crudo, se indican algunas veces como aceites convencionales debido a su amplia aceptación como lubricantes.

Los tres principales tipos de hidrocarburos presentes en el petróleo crudo son: **Parafínicos**, que consisten en una cadena de átomos de carbono recta o ramificada con átomos de hidrógeno unidos. Son compuestos saturados y la cantidad de átomos de carbono puede cambiar. Este aceite usualmente contiene 20 a 70 átomos de carbón. Los **Nafténicos**, son saturados pero los átomos de carbono están dispuestos en anillos, a diferencia de la cadena. Y los **Aromáticos**, que tienen una estructura en forma de anillo aunque no son saturados, poseyendo doble enlace entre algunos de los átomos del carbono.

2.3.2. Fluidos sintéticos

Los aceites sintéticos se preparan mediante la composición de fluidos básicos sintetizados químicamente con aditivos convencionales de lubricación. Los fluidos sintéticos de base se forman por la combinación de componentes de bajo peso molecular (MW) por medio de reacciones químicas para formar compuestos MW más altos. Por lo tanto, cada estructura molecular del fluido base se planea y controla y sus propiedades son predecibles. Los fluidos sintéticos de base no existen en la naturaleza, sin embargo, la mayor parte de ellos provienen del petróleo a través de síntesis que utilizan los componentes derivados de los hidrocarburos de petróleo.

La característica distintiva de todos los sintéticos es la superioridad en uno o más aspectos sobre los aceites minerales. Las características ventajosas de los lubricantes sintéticos más usados, en varios grados son: fluidez a baja temperatura, estabilidad a alta temperatura frente a la oxidación y resistencia al incendio, baja volatilidad en relación con la viscosidad y un elevado índice de viscosidad (menos cambio de viscosidad con la temperatura).

2.3.3. Aceites animales y vegetales

Los aceites animales y vegetales, como lo indica el término, son aceites elaborados con grasa animal o vegetal. Se utilizan principalmente donde existe contacto con alimentos y el lubricante debe ser comestible. Su principal desventaja es que la mayor parte de ellos tiende a deteriorarse rápidamente en presencia de calor.

En el pasado, los aceites hechos de grasas animales, como el aceite de esperma de ballena y el aceite de sebo, se usaron con frecuencia por sus propiedades de lubricidad. Hoy, sin embargo, suelen reemplazarse con grasos sintetizados que realizan la misma función.

2.4. Análisis de aceites

Un buen análisis de aceite es absolutamente indispensable para poder determinar si las propiedades químicas y físicas del mismo son adecuadas para una aplicación específica y si conserva las mismas después de cierto período de servicio. Entre las propiedades que deben ser verificadas tenemos:

2.4.1. Viscosidad

De todas las propiedades y especificaciones de un aceite, la viscosidad (denominada también “cuerpo o peso”) suele considerarse como la más importante. Es una medida de la fuerza requerida para vencer la fricción fluida y permitir que un aceite fluya.

Los laboratorios determinan experimentalmente la viscosidad del aceite usando un viscosímetro, el cual mide la viscosidad cinemática de un aceite por el tiempo (en segundos) que requiere un volumen específico de lubricante para pasar a través de un capilar de tamaño especificado, a una temperatura determinada.

La viscosidad cinemática se deriva entonces de cálculos basados en constantes para el viscosímetro y el tiempo que requirió la muestra para pasar a través del instrumento.

2.4.2. Índice de viscosidad

El índice de viscosidad (IV) es una medida empírica del cambio de viscosidad del aceite a causa de la temperatura. A mayor valor del índice de viscosidad, será menor el cambio de la viscosidad del aceite que produzca la temperatura. Originalmente los índices de viscosidad variaban de 0 a 100; actualmente se logran índices de viscosidad mayores de 100 con ciertos aceites sintéticos o a través del empleo de aditivos.

2.4.3. Estabilidad a la oxidación

Cuando un aceite se expone al calor y al aire, tiene lugar una reacción química llamada oxidación. Los productos de esta reacción incluyen depósitos carbonosos, lodos, barnices, resinas y ácidos corrosivos y no corrosivos. La oxidación suele ser acompañada por un aumento en la viscosidad del aceite.

La rapidez de oxidación depende de la composición química del aceite, de la temperatura ambiente, de la amplitud del área de superficie expuesta al aire, del tiempo que el lubricante ha estado en servicio y de la presencia de contaminantes que pueden actuar como catalizadores para la reacción de oxidación.

De acuerdo con el uso final que se intente dar al aceite, la estabilidad de oxidación se medirá o expresará en formas diferentes. Todas las pruebas de estabilidad de oxidación se basan en colocar una muestra de aceite en condiciones que incrementarán mucho la rapidez de oxidación. Los productos acumulados de la reacción se miden entonces.

La prueba que más se utiliza es la D-943 (ASTM). Se efectúa en condiciones prescritas y se mide el tiempo (en horas) para que la acidez de una muestra de aceite aumente en una cantidad determinada. Cuanto más estable sea el aceite, más tiempo se necesitará para que ocurra el cambio de acidez.

El análisis de aceite usado para determinar si es adecuado para servicio adicional se basa en una comparación entre el aceite usado y el aceite nuevo. Los incrementos en viscosidad, acidez y acumulaciones de contaminantes insolubles suelen ser indicadores de que ha ocurrido la oxidación.

2.4.4. Estabilidad térmica

La estabilidad térmica es una medida de la capacidad de los aceites para resistir los cambios químicos debidos a alta temperatura. Ya que el oxígeno está presente en la mayor parte de las aplicaciones de lubricantes, el término estabilidad térmica se usa frecuentemente en relación con la resistencia de un aceite a la oxidación.

2.4.5. Estabilidad química

La estabilidad química mide la capacidad del aceite para resistir los cambios químicos. Usualmente, también se refiere a la estabilidad de oxidación de un aceite. La estabilidad química, distinta a la resistencia a la oxidación, algunas veces puede indicar que el aceite es inerte ante la presencia de diversos metales y contaminantes externos.

2.4.6. Residuos de carbón

La tendencia a formarse carbón en un aceite se puede determinar con una prueba en la cual el porcentaje en peso del residuo de carbón de una muestra se mide después de la evaporación y la pirólisis.

2.4.7. Número de neutralización

El número de neutralización es una medida de la acidez o de la alcalinidad de un aceite. Usualmente se indica como el número total ácido (NTA) o el número total base (NTB) y se expresa como el equivalente en miligramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar el contenido ácido o básico de una muestra de 1g de aceite. El aumento en el NTA o la disminución en el NTB suele indicar que ha ocurrido la oxidación.

2.4.8. Lubricidad

La lubricidad es el término que se emplea para describir la “deslizabilidad”. Si dos aceites de la misma viscosidad se utilizan en la misma aplicación y uno de ellos causa una reducción mayor en la fricción que el otro se dice que tiene mejor lubricidad que el primero. Éste es un término estrictamente descriptivo.

2.4.9. Número de saponificación

El número de saponificación (No. SAP) es un indicador de la cantidad de material graso presente en un aceite. El número SAP varía de cero en un aceite que no contiene material graso, a 200 para el material con 100% de grasa.

2.4.10. Desemulsibilidad

La desemulsibilidad es el término utilizado para describir la capacidad de un aceite para ceder agua. Cuanto mejor sea la desemulsibilidad del aceite, más rápidamente el aceite se separa del agua después de que los dos se han mezclado. Esta es una característica muy deseable en los aceites hidráulicos.

2.4.11. Gravedad API

La gravedad API es una medida relativa del peso unitario de un producto de petróleo. Se relaciona con la gravedad específica de la siguiente forma:

$$\text{Gravedad API} = U/\text{gravedad específica (141.5-131.5)}$$

2.4.12. Punto de fluidez

El punto de fluidez es la temperatura más baja a la cual el aceite fluirá en cierto procedimiento de prueba. Usualmente no es aconsejable emplear un aceite a una temperatura inferior a 8°C por arriba de su punto de fluidez.

2.4.13. Punto de inflamación

El punto de inflamación es la temperatura del aceite a la cual los vapores del mismo entran en ignición cuando se pasa una llama abierta sobre una muestra de prueba.

2.4.14. Punto de combustión

El punto de combustión es la temperatura del aceite a la cual los vapores del mismo mantendrán una llama continua. Este punto de combustión suele ser aproximadamente de 33°C por arriba del punto de inflamación.

2.4.15. Prueba ICP

Esta es una prueba muy moderna, básicamente es un espectrómetro de emisión de plasma inducido de Argón, que sirve para detectar la presencia de metales en un determinado volumen de aceite usado. Con un análisis de los materiales encontrados se podrá tener una referencia de que parte o partes del equipo están sufriendo más desgaste.

2.5. Usos: lubricación, medio de transmisión, etc.

Como ya se dijo antes la función principal de un aceite es lubricar, pero la lubricación es más un arte que una ciencia exacta. La selección del lubricante adecuado depende del diseño del equipo, las condiciones de operación y el método de aplicación.

La mayoría de los fabricantes de equipos proporcionan recomendaciones de lubricación basadas en el diseño, condiciones normales de operación y experiencia pasada. Siempre que sea posible deben seguirse esas recomendaciones. Además, los proveedores más prestigiosos de aceite se mantienen en íntimo contacto con los fabricantes más importantes de equipo y están a la disposición de los usuarios para la selección de lubricantes.

Como resultado de la tecnología de aditivos, puede encontrarse para la mayor parte de las aplicaciones un aceite de lubricación adecuado a partir de petróleo. Pueden existir excepciones cuando se requieran fluidos resistentes al fuego o existan condiciones extremas de temperatura.

Donde se requieran fluidos resistentes al fuego no son adecuados los aceites de petróleo. En algunos casos son aceptables las emulsiones de agua y aceite si las temperaturas de operación están por debajo de 150°F (65°C)

Pueden ocurrir rendimientos no satisfactorios de los aceites de petróleo en tres tipos de condiciones extremas de temperatura:

- Temperaturas excesivamente altas
- Temperaturas excesivamente bajas
- Variaciones exageradas de temperatura.

3. FILTRACIÓN

3.1 Concepto

Un fluido limpio es esencial para la operación confiable de los equipos controlados hidráulicamente. Debido a que los elementos hidráulicos cada vez están siendo más sofisticados y la presión de trabajo en los sistemas se ha incrementado, ha sido necesario reducir las tolerancias en válvulas y otras partes móviles de los elementos hidráulicos. Cuando partículas abrasivas entran en esos pequeños espacios entre partes en movimiento, las superficies pueden ser gastadas o rayadas, provocando un incremento en las tolerancias, reduciéndose así la efectividad del elemento dentro del sistema. **La filtración es el procedimiento por medio del cual se pueden eliminar muchos de los contaminantes que afectan un sistema hidráulico, incrementándose así la vida de los componentes del mismo.**

3.2 Importancia

La experiencia de diseñadores de sistemas hidráulicos y supervisores de mantenimiento ha comprobado que alrededor del 70% de los paros en maquinaria operada hidráulicamente son provocados por suciedad en el fluido de transmisión, lo que hace resaltar automáticamente la importancia que la filtración tiene dentro de un programa adecuado de mantenimiento preventivo, esto nos lleva a la necesidad de no escatimar esfuerzos en el diseño de un buen sistema de filtrado y al entrenamiento del personal que ha de encargarse de la operación del mismo. Los métodos usados para determinar y controlar los niveles de contaminación serán discutidos con más detalle después, en este momento queremos resumir los requerimientos prácticos y de rendimiento de un sistema de filtración como sigue:

- 1) Debe ser capaz de reducir la contaminación inicial debida al proceso de construcción a un nivel aceptable dentro de un período de tiempo razonablemente corto, para evitar desgaste o daños prematuros en los componentes hidráulicos.
- 2) Debe ser capaz de alcanzar y mantener el nivel deseado, y permitir un factor de seguridad confiable para prever cualquier ingreso concentrado de contaminación que pudiera ocurrir.
- 3) Debe ser considerada la calidad del mantenimiento disponible en el área donde el usuario final se localice.
- 4) Los filtros deben estar fácilmente accesibles para mantenimiento.
- 5) Debe proveerse un indicador de la condición del filtro para cubrir los requerimientos de los usuarios.
- 6) En plantas de operación continua, deben proveerse facilidades para permitir el cambio de los elementos sin interferir con la operación de la planta (by-pass).
- 7) Los filtros deben dar suficiente capacidad de retención de suciedades para permitir intervalos aceptables entre cada cambio de elementos.
- 8) La inclusión de un filtro no debe producir efectos indeseables en la operación del mismo, por ejemplo, altas contra-presiones sobre los sellos.
- 9) Deben instalarse puntos para facilitar la toma de muestras que permitan monitorear los niveles de contaminación.

3.3 Tipos de filtración

La filtración y los filtros pueden clasificarse en varias formas, por ejemplo:

- a) **Por la fuerza impulsora.** Se induce el flujo de filtrado por el septo, mediante la carga hidrostática (gravedad), presión sobreatmosférica aplicada corriente arriba del septo, presión subatmosférica aplicada corriente abajo del septo o fuerza centrífuga a través de éste último. La filtración centrífuga se asocia por lo común a la sedimentación centrífuga en el tema general de la centrifugación, que se considera, en primer lugar, como una aplicación del fenómeno centrífugo y, en segundo lugar, como filtración particular.
- b) **Por el mecanismo de filtración.** Aunque el mecanismo para la detención y la acumulación de sólidos no se comprende claramente, dos modelos del proceso de filtración proporcionan una teoría congruente en la mayoría de los datos de resistencia y velocidad de filtración. El modelo en que los sólidos filtrados se detienen en la superficie del medio y se amontonan unos sobre otros para formar una capa de espesor creciente conduce a las ecuaciones de filtración de capas; el modelo en que los sólidos quedan atrapados dentro de los poros o el cuerpo del medio conduce a las ecuaciones de filtración de medio de filtro. La filtración de medio de filtro recibe varios nombres, entre ellos filtración de bloqueo superficial, de profundidad y micrónica, clarificación y cuando las partículas retiradas son extremadamente pequeñas, ultrafiltración.
- c) **Por la función.** La meta de la filtración puede ser la obtención de sólidos secos (la capa es el producto de valor), líquido clarificado (el filtrado es el producto valioso) o ambas cosas. Lo primero se logra solo mediante la filtración de capas; pero la clarificación se realiza tanto en las operaciones de capa como de medio de filtración.

- d) **Por ciclo operacional.** Los filtros pueden ser intermitentes (por lotes) o continuos. Los filtros por lotes se pueden manejar con una fuerza impulsora de presión constante, a velocidad constante o en ciclos variables, con respecto tanto a la presión como a la velocidad.

- e) **Por la naturaleza de los sólidos.** La filtración de capas puede incluir una acumulación de sólidos sustancialmente incompresibles que corresponden, más o menos, a la filtración de medio de filtro, a partículas deformables y rígidas. El tamaño de partícula o de agregado de partículas puede ser del mismo orden de magnitud que el tamaño de poros mínimos de la mayoría de los medios de filtración (1 a 10 micras y mayores) o más pequeños (de 1 micra hasta las dimensiones de las bacterias o, incluso las moléculas grandes). La mayoría de las filtraciones incluyen sólidos de la primera gama de tamaños; los de la última se pueden filtrar sólo mediante la ultrafiltración o la filtración de tipo medio de filtro, a menos que se conviertan a la primera gama mediante la agregación, antes de la filtración.

3.4 Tipos de contaminantes

Los contaminantes llegan desde dos fuentes básicas, las cuales suelen ser: desde fuera del sistema o los que se generan desde el sistema mismo.

Un alto porcentaje de fallas en los sistemas hidráulicos es causado por contaminantes en el fluido. Invariablemente, altos niveles de contaminación contribuyen a una operación ineficiente, desgaste acelerado de las partes en movimiento, alta temperatura, goteo y pérdidas de control. Todo lo cual, naturalmente decrece la vida útil del equipo.

En los equipos nuevos a menudo queda cierta cantidad de suciedad durante las operaciones de manufactura. Tanto el fluido original como el de relleno pueden contener más suciedad de la que el sistema puede tolerar a menos que sean filtrados antes de entrar al circuito. La mayoría de sistemas adquieren algún grado de contaminación a través de componentes como respiraderos y los sellos de los ejes durante la operación normal. También es posible contaminar un circuito cuando se encuentra abierto durante las operaciones de servicio o mantenimiento.

La contaminación también puede actuar como un catalizador capaz de acelerar la oxidación del fluido y estimular la degradación de los componentes químicos del aceite. Entre los contaminantes más comunes que se pueden encontrar en un sistema hidráulico en su orden mencionaremos:

3.4.1. Agua

Es un contaminante muy común de encontrar en los sistemas hidráulicos, sobre todo en países tropicales como el nuestro, donde la humedad presente en el ambiente se condensa fácilmente en los depósitos de aceite debido a los cambios de temperatura entre el día y la noche. Es necesario controlar éste tipo de contaminación, pues, además de dañar el fluido hidráulico, también puede afectar las paredes de los tanques y tuberías, así como el resto de componentes del sistema.

3.4.2. Metales

La contaminación con metales se puede dividir en dos tipos:

- a) **Benigna:** es la producida por los aditivos presentes en todos los fluidos hidráulicos, por lo que puede ser considerada como un parámetro de desgaste en el aceite.

- b) **Maligna:** es la producida por el desgaste mismo en los componentes del sistema, por lo que puede ser considerada como signo del envejecimiento irreversible de las piezas metálicas en movimiento.

La contaminación por metales debe ser mantenida bajo control pues puede generar un desgaste innecesario en todo el sistema.

3.4.3. Oxidación

La oxidación puede ser tomada como el grado de envejecimiento de un aceite, y no puede ser evitada por ningún tipo de filtración. En sistemas muy limpios es posible que únicamente la oxidación nos determine el momento de cambiar un aceite. Un cambio de viscosidad (más espeso) puede ser signo de oxidación.

3.4.4. Otros tipos de aceite

Normalmente este tipo de contaminación se da por errores al momento de rellenar un depósito, el riesgo que se corre con este tipo de contaminantes es que al mezclar varios tipos de aceites, probablemente no todos cumplen con los requerimientos para una aplicación dada y solamente limitan la acción de aquellos que si los cumplen, por otra parte resulta muy difícil de detectar si no se lleva un control estricto de cada relleno.

3.4.5. Combustibles

La contaminación por combustibles es más común de encontrar en los motores de combustión interna, y se puede detectar por un cambio de viscosidad, un aceite diluido es un signo de éste tipo de contaminación.

3.4.6. Bacterias

No es un contaminante muy común o relevante en caso de estar presente en un sistema hidráulico, sin embargo, debido a que la gran mayoría de aceites son de origen natural, no puede descartarse la posibilidad de que en un momento dado se desarrolle una colonia de bacterias dentro del mismo.

3.5 Efectos del tipo y tamaño de las partículas

Nosotros sabemos que un contaminante puede ser de todos los tamaños y formas, y que entre más fino sea, más difícil es contarlos y determinar el material del que está compuesto. Sin embargo, podemos decir que la mayoría son abrasivos y que interactúan con las protuberancias de la superficie, raspando y cortando fragmentos de la misma. Este desgaste causa cerca del 90% de fallas debido a contaminación. Las fallas por contaminantes caen dentro de las siguientes tres categorías:

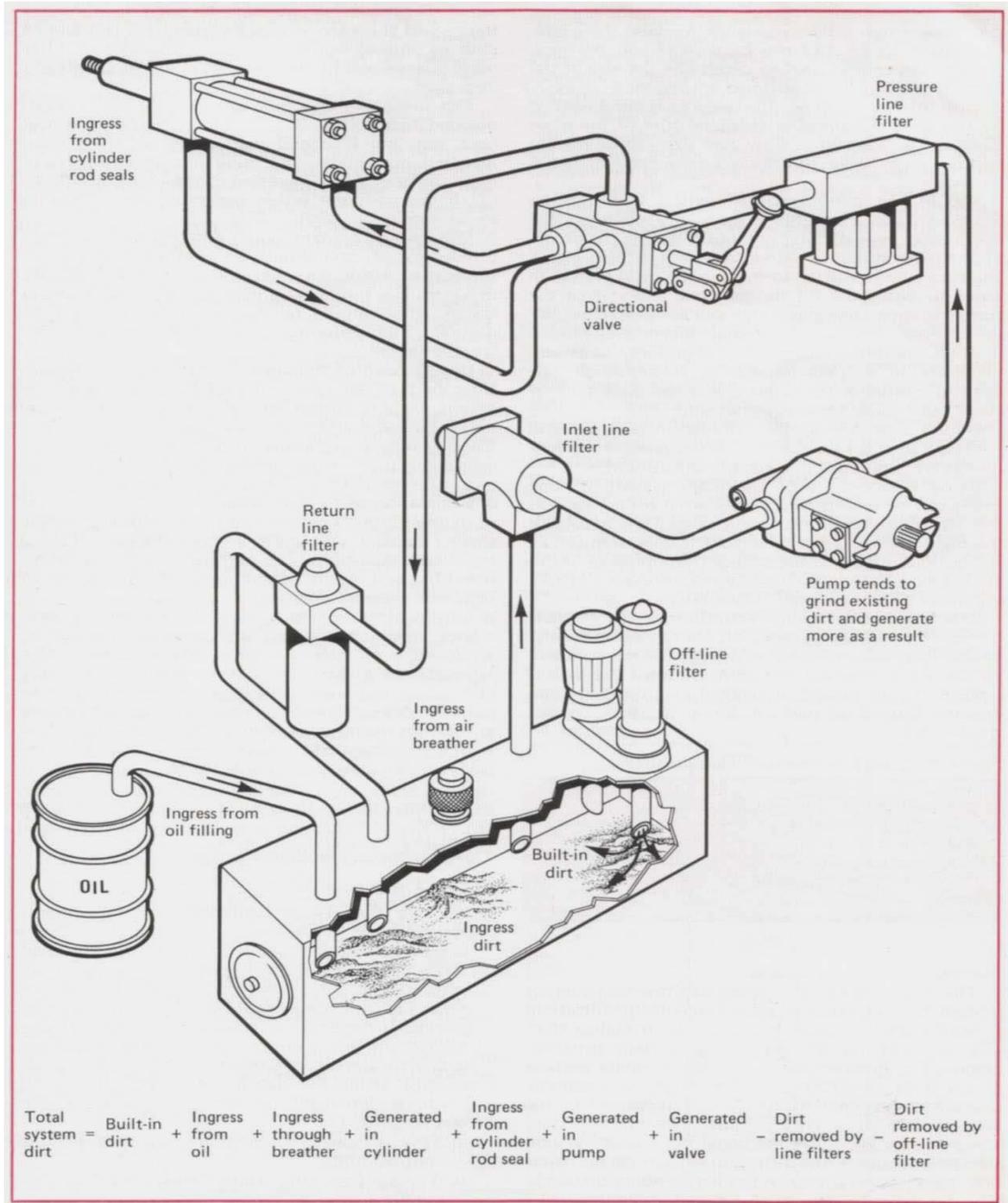
3.5.1. Falla catastrófica

Ocurre cuando una partícula de gran tamaño entra en una bomba o válvula. Por ejemplo, si una partícula queda atrapada en el lugar preciso en el carrizo de una válvula, puede causar que ésta se bloquee completamente.

3.5.2. Falla intermitente

Es causada por contaminación en el asiento de una válvula evitando que ésta se selle adecuadamente, si el asiento es demasiado duro para permitir que la partícula se incruste, ésta puede ser arrastrada cuando la válvula abre nuevamente.

Figura 5. Diagrama de sistema hidráulico típico



Fuente: Effective Contamination Control in Fluid Power Systems

3.5.3. Falla por degradación

Causada por el desgaste, la corrosión y erosión por cavitación, provoca un incremento en fugas internas en los componentes del sistema, pero esta condición es a menudo muy difícil de detectar. Eventualmente, resultan en una falla catastrófica, principalmente en bombas.

Las tolerancias de los componentes hidráulicos pueden ser divididas en dos grupos principales, así: alrededor de 5 micrones para unidades de alta presión y 15-40 micrones para unidades de baja presión. La tolerancia real puede variar considerablemente dependiendo del tipo y condiciones de operación de la unidad. Un buen diseño de los componentes es importante para minimizar el efecto de tolerancias muy bajas.

3.6 Especificando los niveles de contaminación

Un nivel general típico aceptado de filtración es de 25 micrones, especificado sin importar la presión de trabajo, el ambiente local o el ciclo de servicio. Sabemos por experiencia que bajo condiciones similares de operación y del ambiente, la efectividad de un filtro de 25 micrones puede variar dependiendo de su localización en el circuito.

Al ser obvio que las condiciones de uso tienen el mayor efecto sobre los niveles de contaminación obtenidos con un filtro específico, es requisito indispensable determinar y alcanzar el nivel de contaminación requerido por un sistema, siendo responsabilidad del usuario final mantenerlo. A partir de diferentes estudios, se ha logrado determinar aproximadamente los niveles recomendados para cada aplicación, la tabla 1 muestra los niveles aceptables de contaminación sugeridos para cada sistema hidráulico.

Para mantener limpio un sistema hidráulico de aceite en servicio, los filtros son colocados en línea con el circuito, típicamente, se localizan entre el depósito y la bomba, entre la bomba y los elementos de la máquina, y finalmente, en la línea de retorno entre los elementos de la máquina y el depósito. La filtración fuera de línea también es muy utilizada, este sistema de filtración, deriva del sistema hidráulico y opera sobre el aceite en el depósito; esto puede ser en forma continua o intermitente. La localización de los filtros, su tamaño y tipo dependerá básicamente de los requerimientos de flujo y tamaño de partícula admisible.

En los capítulos siguientes se hace una descripción más detallada de cada una de las diferentes formas de instalar un filtro en un sistema hidráulico dependiendo de su ubicación, así como las ventajas y desventajas de cada una.

Tabla I. Niveles sugeridos de contaminación en sistemas hidráulicos

Objetivo de contaminación con sólidos según el Código ISO*		Nivel máximo sugerido		Sensibilidad	Tipo de sistema
5µm	15µm	5µm	15µm		
13	9	8,000	500	Super crítico	Sistema de control sensible a obstrucciones, muy alta confiabilidad. Aplicaciones de laboratorio y aeroespacial.
15	11	32,000	2,000	Crítico	Servos de alto rendimiento y alta presión en sistemas de larga vida. Aviación, machinas herramienta, etc.
16	13	64,000	8,000	Muy importante	Sistemas de alta calidad muy confiables. Requerimientos generales en maquinaria
18	14	250,000	16,000	Importante	Maquinaria en general y sistemas móviles. Presión y capacidad media.
19	15	500,000	32,000	Promedio	Sistemas industriales pesados a baja presión o aplicaciones donde larga duración no es crítica.
21	17	2,000,000	130,000	Protección principal	Sistemas de baja presión con grandes tolerancias.

* ISO Solid Contamination Code

4. FILTRACIÓN CONTÍNUA

4.1 Concepto

La filtración continua o en línea, se refiere a todos aquellos métodos de filtración en los cuales, el fluido está constantemente pasando a través de un filtro o sistema de retención de los contaminantes que puedan afectar el funcionamiento del circuito hidráulico.

4.2 Tipos

Los tipos de filtración en línea se definen básicamente por la ubicación que se le dé al elemento filtrante dentro del circuito y se denominan así debido a que el elemento filtrante siempre está ubicado en la línea de trabajo del fluido, por lo que podemos hacer la siguiente clasificación:

- 4.2.1. Al lado de succión de la bomba,
- 4.2.2. En la línea de presión, y
- 4.2.3. En la línea de retorno.

4.2.1. Filtración al lado de succión de la bomba

El llenado correcto de la bomba es vital si se requiere una operación satisfactoria del sistema hidráulico. A menudo, se pone muy poca atención a la configuración total de la entrada de la bomba, y como resultado, se obtiene que la cavitación es la causa más grande de falla de bombas. Por ésta razón es importante volver a los principios básicos del llenado de bombas. El método más común es usar la presión atmosférica actuando sobre la superficie del fluido para forzarlo dentro de la cámara de entrada de la bomba. Por conveniencia, frecuentemente la bomba es colocada arriba del nivel del fluido.

De los principios de hidráulica sabemos que para que un flujo se origine, necesitamos un diferencial de presión. Con este arreglo tenemos que confiar en la acción mecánica de la bomba para crear una depresión a su entrada. Los fabricantes usualmente citan una depresión máxima admisible a la entrada de la bomba, la cual suele ser del orden de las 5" Hg., lo que nos lleva a que solamente una pequeña caída de presión es aceptable a través del filtro. Por ésta razón, el tamaño y precio de los filtros de succión es a menudo mucho mayor que otros tipos de filtros. Además, esa caída de presión provoca que sea virtualmente imposible remover los sedimentos.

Algunos fluidos tienen gravedades específicas más altas que los aceites minerales, especialmente los sintéticos y los que son basados en agua (95% agua, 5% aceite). Estos incrementan la caída de presión en la bomba y al mismo tiempo demandan presiones más altas para acelerar el fluido dentro de ésta; también es común que tengan una alta presión de vapor, por lo que se hace necesario limitar la depresión a la entrada de la bomba a la mitad del valor usado para aceites minerales, aun cuando la temperatura es limitada a 120°F. Con o sin filtro de entrada, es esencial proveer una cabeza de presión positiva en la entrada de la bomba cuando se usen éstos fluidos.

Sin importar el tipo de fluido, una cabeza positiva en la entrada de la bomba mejora las condiciones de la succión porque se incrementa la fuerza disponible para crear el flujo requerido.

Todos los cálculos deben tomar en cuenta el efecto de la alta viscosidad de los aceites al momento de los arranques, de lo contrario se puede provocar cavitación en la bomba.

El rango usual para filtros de succión está entre los 74 y los 149 micrones. Estos elementos pueden remover la mayoría de partículas sobre de su rango, pero son relativamente inefectivos para partículas más pequeñas.

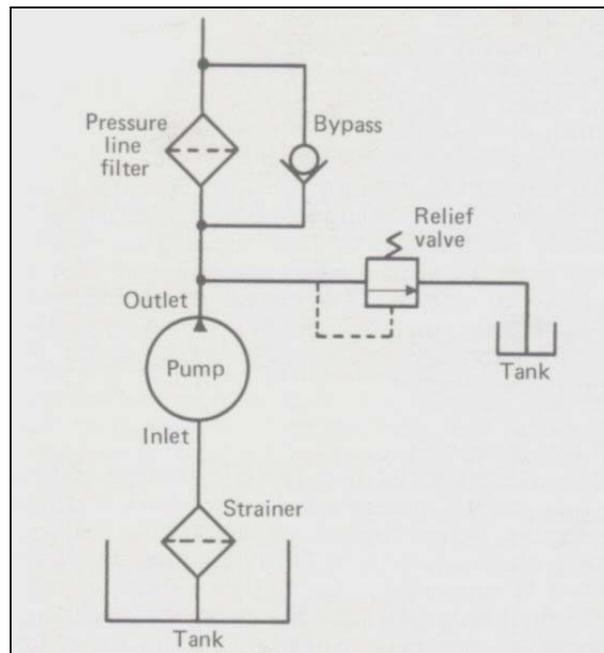
Colocar magnetos dentro del filtro puede ayudar a remover algunas de las partículas metálicas más finas, pero debe tenerse cuidado con la colocación del magneto, pues debe ser tal que pueda acumular una cantidad de contaminantes que bajo ninguna circunstancia puedan desprenderse y pasar conglomerados a la bomba.

Una de las ventajas más frecuentes que ofrecen los filtros de succión es la facilidad para darles servicio, sin embargo, un reensamble incorrecto puede provocar entradas de aire peligrosas para el sistema.

4.2.2. Filtración en la línea de presión

Debemos empezar por discutir la localización del filtro en la línea de presión con relación a la bomba y la válvula de alivio.

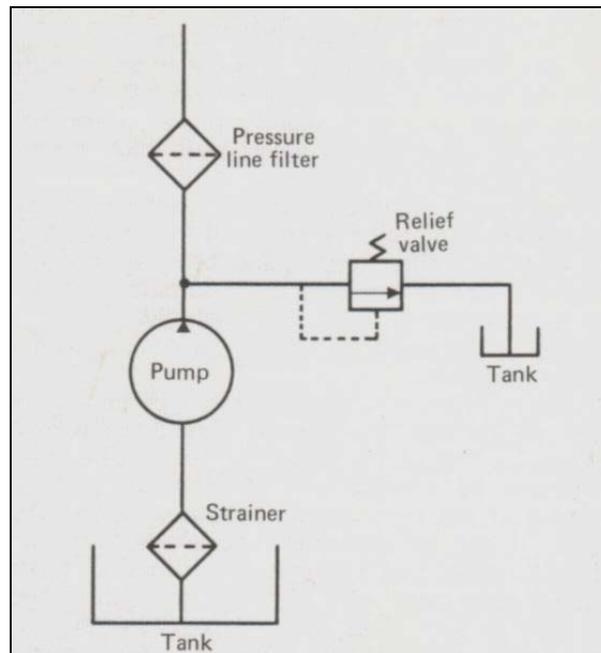
Figura 6. Filtro de presión delante de válvula de alivio



Fuente: Effective Contamination Control in Fluid Power Systems

La figura 6 muestra el filtro de presión localizado delante de la válvula de alivio. La figura 7 muestra el arreglo necesario si se tiene un circuito sin válvula de *bypass*. El flujo real a través del filtro durante la operación depende de la demanda del sistema; durante períodos de operación sin carga, el flujo es prácticamente cero si se utilizan válvulas direccionales con bloqueo central. Naturalmente, si para la operación sin carga se usan válvulas direccionales sin bloqueo central, a través del filtro estará pasando todo el flujo de descarga de la bomba.

Figura 7. Filtro de presión sin *bypass*

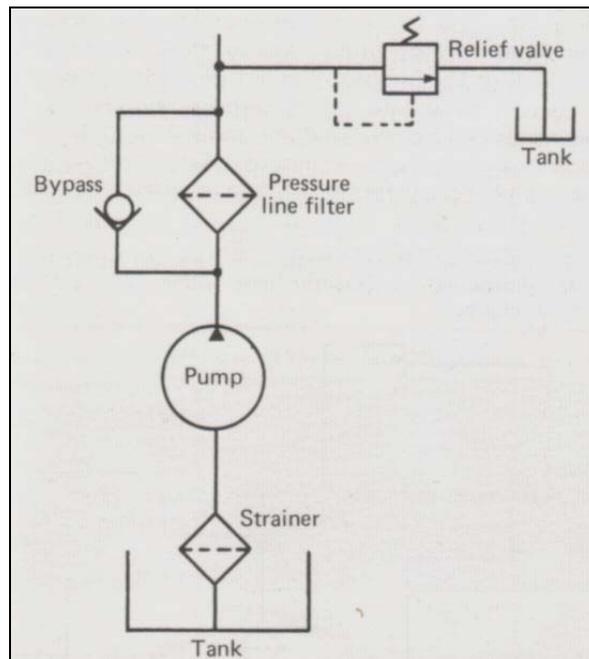


Fuente: Effective Contamination Control in Fluid Power Systems

Para mantener un flujo constante a través del filtro, es práctica común colocarlo entre la bomba y la válvula de alivio, figura 8. En defensa de este arreglo está el hecho de poder garantizar que la válvula de alivio queda protegida contra las impurezas generadas en la bomba.

Para este arreglo, es obligatorio colocar una válvula de derivación (*by-pass*) y el fabricante del filtro debe asegurar que cualquier mal funcionamiento en el mismo no resultará en una presión excesiva a la salida de la bomba.

Figura 8. Filtro de presión en ubicación típica



Fuente: Effective Contamination Control in Fluid Power Systems

Cuando se usan bombas de desplazamiento variable, debe analizarse cuidadosamente el flujo manejado por el filtro. Tomemos el caso clásico de una bomba de presión compensada, cuando está compensada (es decir, bajo desplazamiento a máxima presión de operación del sistema) existe una tasa de flujo baja a pesar de que la bomba sigue trabajando a alta presión, con un filtro en la línea de presión, la cantidad de contaminantes retirado es muy limitada.

Como es sabido, la eficiencia de un filtro depende mucho del tipo de flujo al cual esté sometido, aun y cuando no existen pruebas estándar para evaluar los filtros cuando están sometidos a vibración mecánica y cambios bruscos de flujo y presión. La práctica ha demostrado que todo esto provoca una reducción en la eficiencia y su dimensión depende no solamente de la calidad de la media filtrante sino de que tan bien esté soportada esta media y de la operación de la válvula de derivación (*by-pass*).

En adición a lo ya apuntado acerca de que la vibración mecánica y los cambios repentinos de flujo y presión cuando las válvulas direccionales son operadas, un filtro en la línea de presión también es sometido a pulsaciones de la bomba. Se ha demostrado que estos efectos reducen drásticamente la eficiencia de los filtros.

Desde el punto de vista del mantenimiento, cambiar el elemento de un filtro de presión implica parar el sistema si no se ha previsto una válvula de desvío externa.

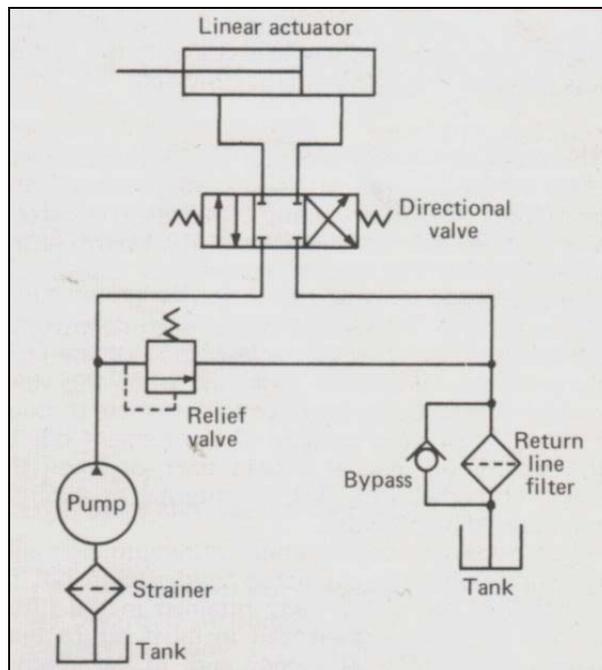
En resumen, se recomienda el uso de filtros en la línea de presión en ciertas aplicaciones para proteger el sistema en caso de que se presente una falla catastrófica en la bomba o para dar protección especial a una unidad o a un grupo de unidades del sistema. Un ejemplo de esto puede ser una servo-válvula, donde una falla puede resultar extremadamente cara, sin embargo, debe notarse que un filtro de presión no protege la servo-válvula de la suciedad que ingresa a través de los sellos de los ejes de los cilindros.

4.2.3. Filtración en línea de retorno

La figura 9 muestra el arreglo típico de una instalación de filtración en la línea de retorno, donde todas las líneas de retorno pasan a través del filtro. Las líneas de drenaje de la bomba, motores y ciertas válvulas no deben estar sujetas a fuentes de presión emanando del sistema de retorno, y deben regresar al tanque por separado.

Para prevenir el colapso del elemento del filtro debido al paso de aceite altamente viscoso, por ejemplo, durante un arranque frío o cuando el elemento está saturado de suciedad, se debe de asegurar la instalación de una derivación interna o externa. Cuando ocurre la derivación en condiciones de bajo flujo, el aceite no debe contaminarse con suciedad que ya ha sido retenida en el filtro.

Figura 9. Filtro en línea de retorno



Fuente: Effective Contamination Control in Fluid Power Systems

La filtración en la línea de retorno a pleno flujo debe ser con suficiente capacidad para manejar el máximo flujo de retorno sin que la derivación (*by-pass*) esté abierta. Una cuidadosa evaluación del flujo a través del filtro es necesaria, los comentarios respecto al uso de bombas de desplazamiento variable con filtros de presión son aplicables también a los filtros en la línea de retorno, ya que, con bombas de presión compensada, los filtros únicamente ven el volumen desplazado por el cilindro.

En resumen, un filtro en la línea de retorno no protege el sistema de suciedad ambiental entrando al depósito por los respiraderos o durante los rellenos para ajustar el nivel. Sin embargo, si se arranca con un depósito limpio y se toman las debidas precauciones para evitar el ingreso de contaminación ambiental, la experiencia muestra que se puede obtener una filtración efectiva y económica con filtros en la línea de retorno.

Actualmente, es más fácil mantener el sistema hidráulico de las máquinas de inyección en buenas condiciones, pues es una práctica común equiparlas con un filtro en la línea de retorno de 10 μm como equipo estándar. Este filtro, usualmente tiene un elemento descartable y puede contar con un indicador de cuando es necesario cambiar el elemento.

5. FILTRACIÓN PERIÓDICA

5.1 Concepto

La filtración periódica o fuera de línea, se refiere a todos aquellos métodos de filtración en los cuales, el caudal de la línea principal no está constantemente pasando a través de un filtro o sistema de retención de los contaminantes que puedan afectar el funcionamiento del circuito hidráulico.

A sido establecido que la efectividad de los filtros ubicados en las líneas de presión y de retorno se reduce debido al efecto de las pulsaciones, vibraciones, variaciones de caudal, etc., dependiendo en gran medida del tipo de medio filtrante y que tan bien esté soportado. Un flujo constante, relativamente libre de fluctuaciones de presión provee un rendimiento óptimo del elemento filtrante. La forma más simple de conseguir estas condiciones es quitar el filtro de la línea principal y colocarlo en una unidad de recirculación independiente donde su rendimiento es más predecible.

Con la filtración fuera de línea, el diseñador no está supeditado a las características de flujo y presión del sistema principal; el mejor filtro, flujo y tamaño puede ser fácilmente seleccionado para alcanzar la frecuencia de mantenimiento deseada. Si no se alcanza el nivel de contaminación deseado, las correcciones son muy fáciles de hacer a través del caudal o el tipo de elemento filtrante sin afectar el diseño del sistema principal, además, el sistema de filtración fuera de línea puede ser arrancado antes de arrancar el sistema principal para permitir que el aceite del tanque se limpie y reducir el nivel de contaminación que la bomba principal verá antes de arrancar la máquina. Idealmente este sistema debe ser dejado funcionando continuamente para obtener un tanque completo de aceite limpio listo para cada arranque de la máquina.

A diferencia de los filtros en línea, una instalación del sistema de filtración fuera de línea seguirá limpiando el aceite cuando una bomba de descarga variable este corriendo al mínimo desplazamiento.

5.2 Tipos

Los tipos de filtración periódica se definen básicamente por la forma de conexión del sistema de recirculación de aceite a la máquina, por lo que podemos hacer la siguiente clasificación:

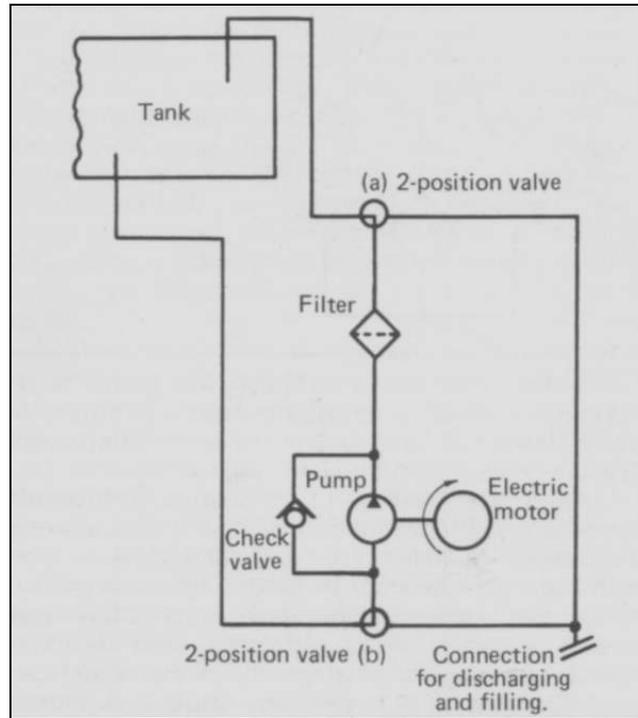
5.2.1 Sistemas fijos de filtración fuera de línea

Los sistemas fijos de filtración fuera de línea, han sido usados por muchos años por la industria del plástico. Los sistemas fuera de línea cuentan con su propia bomba, motor y un sistema muy sencillo para conectarse al tanque central de la máquina. La figura 10 muestra un arreglo típico de este tipo de conexión.

Asumiendo estándares razonables de ingeniería en el diseño y construcción del sistema, los factores más relevantes en la selección de la tasa de flujo que debe pasar a través del sistema de filtración fuera de línea son: el medio ambiente y el tamaño del tanque. De la experiencia de campo, se obtiene que los lineamientos dados en la tabla II pueden ser aplicados en forma bastante segura y el caudal que se deriva puede ser utilizado para determinar el tamaño del filtro a instalar.

Al ser independientes del sistema principal, los filtros fuera de línea pueden ser colocados donde sea más conveniente para su mantenimiento y servicio. Cuando es necesario hacer cambio del elemento filtrante, la línea principal no se ve afectada y el cambio de elemento puede ser efectuado en cualquier momento sin necesidad de parar o introducir aire al sistema principal.

Figura 10. Sistema de filtración fijo fuera de línea



Fuente: Effective Contamination Control in Fluid Power Systems

Tabla II. Taza de flujo según las condiciones ambientales

Medio Ambiente	Taza de flujo (l/min) como % de la capacidad del tanque (litros)
BUENO	5%
PROMEDIO	10%
MALO	20%

5.2.2 Filtración fuera de línea portátil

Los sistemas fuera de línea portátiles, cuentan con su propia bomba, motor y un sistema muy sencillo para conectarse al tanque central de la máquina, normalmente se instalan sobre pequeñas ruedas para facilitar su traslado de una máquina a la otra. La mayoría de los sistemas fuera de línea portátiles usan elementos convencionales, normalmente en el rango de los 10 μm , estos filtros son movidos de máquina en máquina, pero cuando el filtro no está conectado a la máquina, el nivel de contaminantes se va incrementando gradualmente. Desde el punto de vista de ingeniería, esto no es muy conveniente.

A pesar de que los filtros fuera de línea portátiles son relativamente caros, es una práctica común usarlos en muchas máquinas como una vía ideal para llenar las máquinas con aceite nuevo, evitando así, contaminar el depósito con impurezas procedentes del mismo.

A pesar de lo que la filtración fuera de línea pueda representar, la filtración de un sistema depende de factores relacionados al carácter, cantidad y origen de la contaminación. Al ser una filtración parcial, se debe decidir si es necesario proteger componentes individuales o grupos de componentes de partículas extrañas que pudieran causar fallas catastróficas.

6. IMPORTANCIA ECONÓMICA

6.1 Análisis de costos

Desde el punto de vista administrativo, cualquier alternativa de acción debe ser evaluada también desde el punto de vista económico. Hasta el momento se ha analizado únicamente del aspecto técnico y funcional de la filtración como parte del mantenimiento preventivo. Toca ahora analizar el aspecto económico de la aplicación de esta parte del mantenimiento, a través del análisis de costos.

6.2 Costos directos, indirectos y totales de mantenimiento

Para poder suministrar un servicio adecuado de mantenimiento, deben equilibrarse tres factores que permitan optimizar el servicio:

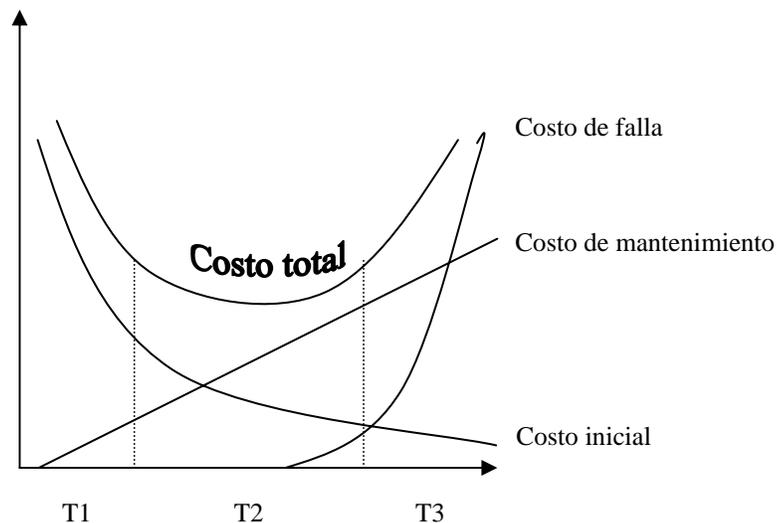
- a) Calidad económica del servicio
- b) Duración adecuada del equipo
- c) Costos mínimos de mantenimiento

Desde el punto de vista de costos, estos tres factores nos implican que existe un “costo total de servicio”. Es función de la administración de mantenimiento, minimizar el costo total de servicio. Este costo total de servicio, está compuesto de tres tipos de costos:

1. Costo inicial del equipo, considerando su depreciación
2. Costo de mantenimiento, considerando su incremento
3. Costo por falla del equipo

El punto clave del mantenimiento, consiste en justificar el costo del mantenimiento comparado con el costo de falla. En la figura 11, podemos analizar un gráfico de la composición de costos de mantenimiento.

Figura 11. Costos de mantenimiento



La adquisición de equipo nuevo acarrea costos totales elevados, pues inicialmente su depreciación es muy acelerada, pero se compensa ya que necesita menos gastos de mantenimiento y la expectativa de falla es menor, periodo T1.

Conforme el equipo se avejenta, sus componentes van sufriendo desgastes, que necesariamente obligan a un aumento de frecuencias de fallas de servicio y los costos de mantenimiento se incrementan; además que el cambio de repuestos es más costoso debido a la dificultad de obtenerlos, pues los fabricantes no garantizan la existencia de estos por periodos muy grandes. Por otro lado, un aumento en la frecuencia de fallas del servicio, causa pérdidas en el ingreso que origina la prestación del mismo; de tal manera que estos costos aumentan en forma sensible hasta ser prácticamente prohibitivos al final de la vida del equipo.

Observando la curva del costo total se comprueba que existe una zona donde este es mínimo, zona del periodo T2, por lo que si es posible, debe pensarse en la reposición del equipo al comenzar a rebasar dicho periodo, pero teniendo cuidado de garantizar la continuidad en el servicio, así como considerar los gastos que la reposición implica para efectos de costo total.

A partir del periodo T3, la operación de la maquinaria inicia un rápido incremento de los costos totales, hasta que se llega al punto de producir pérdidas a la empresa.

El objetivo del mantenimiento preventivo es prolongar el periodo T1, de la curva decreciente de costos el máximo tiempo posible. Todos los elementos físicos de una empresa tienden a fallar y deteriorarse con el tiempo, es posible prolongar su vida por medio de la función del mantenimiento. Esta función de mantenimiento, exige ciertos gastos para realizarse, sin embargo, como sucede con todas las actividades basadas en el costo, existe un punto de equilibrio en la curva de “costos de falla-mantenimiento” que marca el estado óptimo entre el nivel de mantenimiento previsto y el efecto de las fallas.

6.3 Influencia de la filtración en los costos totales de mantenimiento

Actualmente, la mayoría de las máquinas de inyección vienen equipadas con filtros en la línea de retorno de 10 μ m como estándar. Este filtro usualmente tiene un elemento reemplazable puede o no tener un indicador para señalar cuando es necesario cambiar el elemento filtrante. Adicionalmente, muchas máquinas están equipadas con filtros en la línea de succión de la bomba, estos normalmente están alrededor de los 150 μ m para evitar que contaminantes de gran tamaño entren a la bomba, un filtro muy fino a la entrada de la bomba puede incrementar la probabilidad de cavitación en la misma.

Probablemente el impacto más obvio de un aceite contaminado sea las paradas no previstas de la máquina, el número de bombas, válvulas y otros componentes hidráulicos y sus costos también está directamente relacionado con la condición del aceite en el sistema. Los problemas hidráulicos pueden provocar un funcionamiento errático y los operadores de máquinas inyectoras están bien conscientes de los costos provenientes de malos moldeos.

El costo total de reemplazar un aceite se incrementa así como crece el costo de deshacerse del mismo, pues debido a regulaciones ambientales, desechar el aceite usado cada vez se volverá un problema más caro.

Actualmente, el costo estimado de un cambio de aceite es de tres a cinco veces el costo del aceite nuevo. Esto a provocado que muchas fábricas reconozcan que el valor total en dinero del aceite en sus máquinas representa una inversión importante. Como cualquier inversión, el aceite es cuidadosamente mantenido en un esfuerzo por extender su vida útil.

6.4 Control de costos

El control de costos, es una función administrativa del jefe de mantenimiento, por lo que el debe elaborar su hoja de costos para cada equipo e ir controlando cuales son los costos de operación del mismo. Cuando un equipo llega al periodo de reemplazo, debe recomendar a la dirección de la empresa la reposición del mismo.

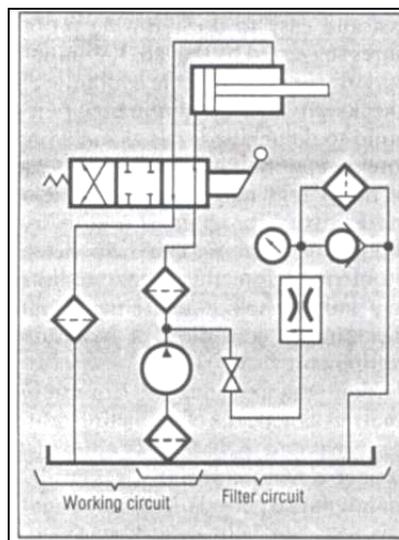
Respecto a los costos de mantenimiento, debe mantener un registro constante de los costos de mantenimiento y avería, para trazar todas sus políticas enfocadas al punto de equilibrio de estos costos, para minimizar los costos totales de mantenimiento.

6.5 Análisis de un caso real en una máquina inyectora de plástico

A pesar de que la mayoría de operadores de máquinas de inyección de plástico hacen gran esfuerzo por mantener el aceite hidráulico de sus maquinas limpio, pocos de ellos comprenden cuan limpio debería de ser o que tan grande puede ser el impacto de un aceite contaminado en sus costos de operación.

Aún los fabricantes de máquinas de inyección, en su mayoría, hacen poco énfasis en la importancia de un aceite hidráulico limpio. En este tipo de máquinas, la principal causa de paros no programados es debida a problemas en el sistema hidráulico debido a que a menudo no es fácil de diagnosticar, es muy común que sea necesario solicitar ayuda técnica al fabricante para resolverlos.

Figura 12. Sistema de filtración con *bypass*



Fuente: Effective Contamination Control in Fluid Power Systems

El costo promedio de una servo válvula para una máquina inyectora es de aproximadamente US\$2,200. El aceite hidráulico cuesta aproximadamente US\$3.35 por galón, por lo general un cambio de aceite cuesta en promedio entre \$800 y \$1000 anuales más el costo de remover el aceite usado. Al instalar un circuito fijo de filtrado por by-pass en la línea de presión como el que se muestra en la figura 6-2 que incluye una válvula de corte para permitir el cambio del elemento filtrante, un indicador de nivel de contaminación y una válvula toma muestra por donde se pueden sacar las muestras de aceite para los análisis respectivos; permite reducir los tiempos de paro no programados en un 30% e incrementa varias veces la vida útil del aceite al mantenerlo libre de contaminantes en un nivel aceptable para una operación libre de problemas.

CONCLUSIONES

1. La calidad del fluido utilizado en un sistema hidráulico es determinante en el desempeño del mismo.
2. La limpieza es uno de los pilares fundamentales sobre los que se basa la calidad de un fluido hidráulico, y la filtración viene a ser el medio necesario para mantener el nivel de limpieza requerido por un sistema determinado, por tanto, la calidad de un sistema hidráulico es función directa de su sistema de filtrado.
3. Los sistemas hidráulicos son cada vez más sofisticados y caros, con tolerancias cada vez más estrechas, por lo que se hace necesaria más tecnología para su fabricación. Todo esto da como resultado equipos más confiables pero a su vez más delicados y sensibles a las impurezas, lo que lleva a la necesidad de implementar sistemas de filtrado completos que permitan mantener los costos de operación dentro de niveles aceptables.
4. Antes de hacer cambios en el diseño original de un sistema hidráulico es indispensable contactar al fabricante para tener en cuenta sus especificaciones con respecto a las tolerancias permitidas y, con esto, evitar que el sistema de filtración se convierta en un problema en sí mismo.

RECOMENDACIONES

1. Determinar las características y tolerancias de los elementos del circuito hidráulico de la máquina en cuestión.
2. Seleccionar el tipo de filtración más adecuado para esas aplicaciones en particular, asegurándose que se cumpla con el tamaño y cantidad de contaminantes permitidas en el sistema.
3. Cumplir con los requisitos del mantenimiento preventivo para reducir la entrada de contaminantes a través de sellos defectuosos y la concentración de los mismos en el medio filtrante que provoquen un deterioro acelerado del sistema.
4. Realizar un control periódico del fluido hidráulico para determinar si la filtración está siendo efectiva para mantener los niveles aceptables de contaminación y el momento óptimo en que sea necesario el cambio total del aceite del circuito.

BIBLIOGRAFÍA

1. Streeter/Wylie. **Mecánica de los fluidos**, Sexta edición. Mc Graw Hill.
2. Robert Rosaler, P.E./James O. Rice. **Manual de mantenimiento industrial**. McGraw Hill, 1989
3. Jhon Spencer. **Effective Contamination Control in Fluid Power Systems**. Vickers, Inc. 1980
4. Marketing Technical Services. **ISO Cleanliness Code for Hydraulic Oil Systems**. Exxon Company, U.S.A. 1989
5. Process Filtration Products. **The Filtration Source Book**. CIF.001.592. CUNO, Inc. 1992