

300617
52
24

UNIVERSIDAD LA SALLE



ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

DESCRIPCION, ANALISIS Y APLICACIONES
DE UN SISTEMA DE LUBRICACION POR
NIEBLA DE ACEITE

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
CON AREA PRINCIPAL EN
INGENIERIA INDUSTRIAL
P R E S E N T A :
GABRIEL SEGURA PEREZ

ASESOR DE TESIS
ING. LUIS E. GARCIA GARCIA

MEXICO, D. F.,

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

TEMA

PAGINA

- INTRODUCCION

- CAPITULO I

OBTENCION, REFINO, LUBRICACION Y PROPIEDADES DE LOS ACEITES

| | |
|--|----|
| | 1 |
| 1.1. Proceso de destilación. | 1 |
| 1.2. Obtención de aceite base. | 3 |
| 1.3. Descripción de las unidades de refino de aceites base. | 4 |
| 1.3.1. Unidad de desasfaltado. | 4 |
| 1.3.2. Unidad de furfural. | 5 |
| 1.3.3. Unidad de desparafinado. | 6 |
| 1.3.4. Unidad de ácido. | 7 |
| 1.3.5. Unidad de tierras. | 8 |
| 1.3.6. Tratamiento por hidrogenación catalítica. | 9 |
| 1.4. Aceites lubricantes. | 9 |
| 1.4.1. Definición. | 9 |
| 1.4.2. Clasificación. | 10 |
| 1.4.3. Fabricación. | 10 |
| 1.5. Aditivos lubricantes. | 11 |
| 1.5.1. Propiedades generales. | 11 |
| 1.5.2. Actuación de un aditivo frente al otro y ante el aceite base. | 12 |
| 1.5.3. Clasificación. | 13 |
| 1.6. Actuación sobre propiedades físicas. | 14 |
| 1.6.1. Mejoradores del índice de viscosidad (I.V.). | 14 |
| 1.6.2. Depresores del punto de congelación. | 15 |
| 1.7. Actuación sobre propiedades químicas. | 16 |
| 1.7.1. Antioxidantes. | 16 |
| 1.7.2. Anticorrosivos. | 17 |
| 1.7.3. Antiherrumbre. | 18 |
| 1.8. Propiedades físico-químicas. | 19 |
| 1.8.1. Detergentes. | 19 |
| 1.8.2. Dispersantes. | 20 |
| 1.8.3. Aditivos multifuncionales. | 20 |
| 1.8.4. Aditivos de extrema presión (E.P.). | 21 |

| | |
|--|----|
| 1.8.5. Antiespumantes. | 21 |
| 1.8.6. Aditivos emulsionantes. | 22 |
| 1.9. Propiedades físicas de los lubricantes. | 23 |
| 1.9.1. Color y Fluorescencia. | 23 |
| 1.9.2. Densidad. | 23 |
| 1.9.3. Viscosidad. | 25 |
| 1.9.4. Sistemas y unidades de mayor uso. | 25 |
| 1.10. Propiedades superficiales. | 26 |
| 1.10.1. Tensión interfacial. | 26 |
| 1.10.2. Formación de espuma. | 27 |
| 1.10.3. Emulsibilidad. | 27 |
| 1.11. Propiedades térmicas. | 28 |
| 1.11.1. Puntos de inflamación y combustión. | 28 |
| 1.11.2. Puntos de congelación y enturbiamiento. | 28 |
| 1.12. Propiedades químicas de los lubricantes. | 29 |
| 1.12.1. Número de neutralización. | 29 |
| 1.12.2. Residuo de carbón. | 30 |
| | |
| - CAPITULO II | |
| GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE LUBRICACION | 31 |
| 2.1. Características. | 32 |
| 2.2. Descripción de los sistemas de lubricación. | 38 |
| 2.2.1. Inmersión. | 39 |
| 2.2.2. Lubricadores manuales. | 44 |
| 2.2.3. Lubricadores de alimentación por goteo. | 45 |
| 2.2.4. Lubricación incorporada (autolubricación). | 45 |
| 2.2.5. Nebulización o niebla de aceite. | 46 |
| | |
| - CAPITULO III | |
| SISTEMAS DE LUBRICACION A BASE DE NIEBLA DE ACEITE | 48 |
| 3.1. Tipos de niebla y sus propiedades. | 52 |
| 3.2. Elementos principales de un sistema de lubricación por niebla, y su diseño. | 55 |
| 3.2.1. Consola generadora. | 55 |
| 3.2.2. Sistema de distribución. | 56 |
| 3.2.3. Sistema de reclasificación. | 58 |
| 3.2.4. Inyección de niebla en los equipos. | 61 |

| TEMA | PAGINA |
|--|---------------|
| 3.3. Aplicaciones y tipos de niebla. | 61 |
| 3.3.1. Lubricación por inmersión en seco o niebla pura. | 64 |
| 3.3.2. Lubricación por inmersión en húmedo o niebla purga. | 66 |
| 3.4. Cálculos principales de los sistemas de lubricación por niebla. | 68 |
| 3.4.1. Unidades del sistema. | 68 |
| 3.4.2. Selección de los reclasificadores. | 70 |
| 3.4.3. Selección del cabezal generador. | 71 |
| 3.4.4. Cálculo del aire requerido. | 73 |
| 3.4.5. Cálculo del aceite requerido. | 73 |
| | |
| - CAPITULO IV | |
| CASO PRACTICO DE UN SISTEMA DE LUBRICACION POR NIEBLA DE ACEITE | 75 |
| 4.1. Levantamiento físico de los equipos e instalaciones. | 76 |
| 4.1.1. Elaboración de tablas de cálculo y planos de diseño. | 77 |
| 4.1.2. Elección del cabezal generador y de la consola. | 78 |
| 4.2. Tabla de cálculos. | 80 |
| 4.3. Procedimientos de cálculo. | 87 |
| 4.4. Selección de la consola y generador de niebla. | 90 |
| 4.5. Diseño de la instalación del sistema. | 93 |
| | |
| - CAPITULO V | |
| PROBLEMATICA Y ASPECTOS ECONOMICOS DE LA LUBRICACION POR NIEBLA DE ACEITE | 98 |
| 5.1. Planeación estratégica. | 104 |
| 5.1.1. Areas Claves de la dinámica de una empresa. | 108 |
| 5.1.2. La planeación estratégica como una solución. | 110 |
| 5.2. Justificación económica. | 111 |
| | |
| CONCLUSIONES | 123 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 126 |

INTRODUCCION

El gran interés e importancia de la lubricación, se pone de manifiesto si consideramos que todas las partes móviles de las máquinas y equipos en general, están sujetas a fricción y desgaste, y su control así como su reducción es uno de los principales problemas con que se enfrentan los técnicos responsables del mantenimiento. Lo anterior se vuelve todavía más crítico si tomamos en cuenta que una gran parte de la energía producida se pierde en la fricción.

Por tal motivo los ingenieros así como los técnicos tienen que estar conscientes de las enormes pérdidas que puede generar un método de lubricación inadecuado o el empleo de un lubricante inapropiado.

Por lo general, los sistemas convencionales de lubricación son actualmente obsoletos e ineficientes, provocando por tal motivo condiciones críticas de operación en las plantas industriales. El camino para elevar la confiabilidad de los equipos, así como su eficiencia, es la automatización industrial que es una estrategia que ha tenido gran impacto en los últimos años en todo el mundo, y que consiste básicamente, en automatizar las actividades de los operadores eliminando de esta forma el error humano y originando como consecuencia reducción en los costos de operación y mantenimiento.

La LUBRICACION A BASE DE NIEBLA es una tecnología de vanguardia y científicamente probada, que puede eliminar en gran medida los problemas de lubricación en las plantas industriales.

Sin embargo, hay que tener presente que el lubricante juega un papel primordial en cualquier sistema de lubricación, por tal motivo conocer su obtención, refinado, así como sus propiedades, son temas analizados con detalle en la realización de este trabajo.

Una vez conocidos los lubricantes así como su comportamiento, sólo restaría conocer la aplicación de los mismos, pero para tal efecto, es importante conocer también los sistemas de lubricación que, finalmente, serán los dispositivos de aplicación en cualquier tipo de industria (anillos, aceiteras, cadenas, collar, etc.), y así, de esta forma, podremos desarrollar un criterio de selección en cuanto al lubricante así como el sistema de lubricación más óptimo.

Dentro de los sistemas de lubricación, la LUBRICACION A BASE DE NIEBLA, cobra importancia capital debido a que es el tema principal de este trabajo, por lo tanto se desarrolla en forma detallada, desde la generación de niebla, los elementos principales que lo conforman, los tipos de aplicación, los criterios de cálculo, para terminar finalmente con el diseño.

Posteriormente para facilitar la comprensión de la tecnología, se desarrolla un ejemplo práctico, analizando en éste, todos los detalles teóricos previamente discutidos.

Como cualquier tecnología revolucionaria, su introducción en el mercado, así como la asimilación de ésta, es una tarea muy compleja, por lo tanto, tenemos que ayudarnos de herramientas (Planeación Estratégica)

que probablemente nos facilitarán en mucho, la implementación de esta tecnología, y la cual se comenta ampliamente en este trabajo.

Debido a que el objetivo principal de este trabajo es el dar a conocer la tecnología así como su difusión, el texto se ha diseñado para que sea de fácil entendimiento y para que pueda ser tomado como guía y apoyo por los profesionales involucrados en estas áreas.

CAPITULO I

OBTENCION, REFINO, LUBRICACION Y PROPIEDADES DE LOS ACEITES.

Al realizar un estudio relacionado a un sistema de lubricación a base de niebla de aceite, sería un grave error dedicar exclusivamente el estudio a la tecnología del sistema, pasando por alto el aceite.

Ya que el aceite es uno de los principales elementos utilizados en la lubricación, es además de interesante, muy importante para este trabajo dada su estrecha relación con los sistemas de lubricación por niebla, el poder analizar algunos aspectos básicos de este como son: origen, fabricación, propiedades, etc.

Sin embargo el tema del aceite es muy amplio, por lo tanto en este primer capítulo se hablará del aceite en forma general, sin profundizar mucho en su estructura química, y solo se enfatizará en los aspectos que se consideren importantes para la mejor comprensión de nuestro tema principal.

1.1. PROCESO DE DESTILACION.

El petróleo crudo prácticamente no se utiliza nunca según se extrae; debe ser procesado en una refinería para transformarlo en la infinidad de productos que utilizamos en nuestra vida cotidiana.

Una refinería elemental es una instalación industrial que consta de

unas instalaciones de descarga (puertos o terminales de oleoductos), una serie de tanques para almacenaje del petróleo crudo que se recibe (por mar o por oleoducto) y unas instalaciones para el fraccionamiento y purificación de los productos obtenidos del petróleo.

El petróleo crudo, está formado principalmente por moléculas de hidrocarburos de muy variados tamaños y tipos.

Mediante un calentamiento del petróleo crudo en hornos, se lleva este a temperaturas del orden de los 360°C haciéndolo circular por medio de bombas centrífugas a una presión de 3 a 4 atmósferas. (Ver Fig. 1).

En estas condiciones de presión y temperatura se introduce en una columna de destilación fraccionada donde por la cabeza se extraen, en forma de gas, los hidrocarburos de peso molecular inferior a 90. Con ello se obtienen los gases ligeros (metano-etano), los gases licuables (propano y butano) y las naftas ligeras (pentanos y más pesados).

Por extracciones laterales de la columna de fraccionamiento se extraen hidrocarburos de mayor peso molecular tales como naftas pesadas, kerosenos que por su peso molecular y tensión de vapor servirán para la obtención de combustibles de aviación y gasóleos. Por el fondo de la torre se obtiene aquella parte que no ha sido posible vaporizar a la temperatura de 350°C .

Esta parte más viscosa y de mayor peso molecular que no se ha destilado, es lo que se conoce con el nombre de residuo atmosférico y es la

DESTILACION ATMOSFERICA

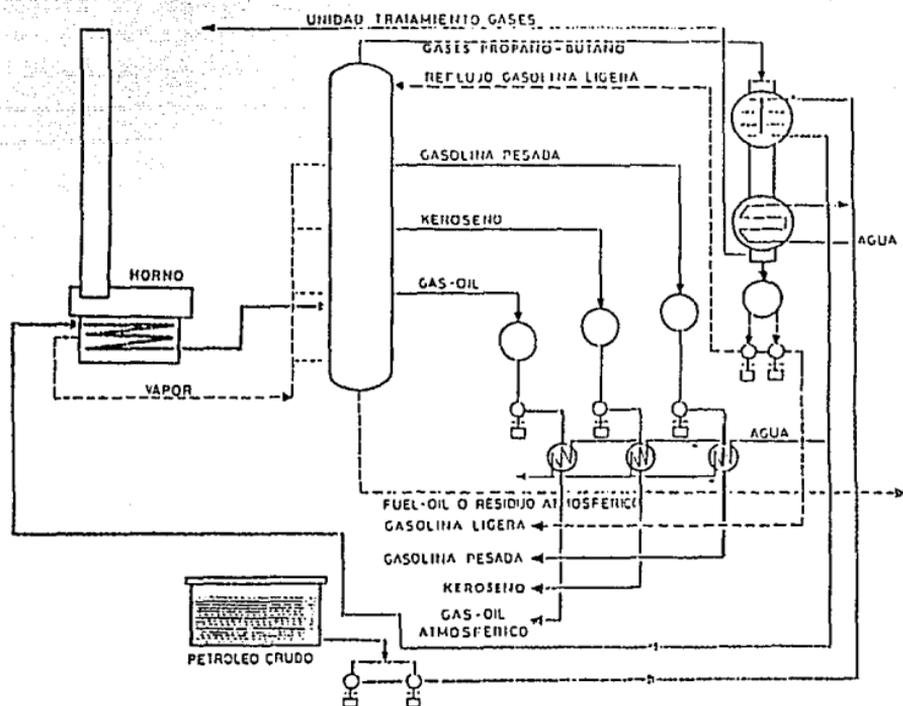


Fig. 1

materia prima para la obtención de los fuel-oil, aceites lubricantes, parafinas y asfaltos.

Una vez obtenidos los diversos productos citados en el párrafo anterior es necesario purificarlos, quitándoles principalmente los compuestos de azufre que siempre vienen formando parte del crudo petrolífero. Principalmente se trata de mercaptanos.

Ello se consigue, bien mediante tratamientos con productos químicos (sosa, etc.), o por tratamiento con hidrógeno para formar ácido sulfhídrico (H_2S) que, en forma gaseosa, es separado del hidrocarburo. Estos procesos se designan con el nombre de desulfuración.

Las naftas para convertirlas en gasolinas es necesario tratarlas por procedimientos catalíticos que mejoren su índice de octano, ya que los automóviles modernos, requieren gasolinas con índice de octano superior a 90, y en muchos casos del orden de 96/98 N.O.R.

Los distintos procesos y tratamientos permiten adecuar los productos que se obtienen en una refinería a las exigencias y demanda del mercado de combustibles.

A continuación describiremos los procesos para la obtención de los aceites base y los tratamientos a que se les somete.

1.2. OBTENCION DE ACEITE BASE.

Partimos de otra unidad con torre de destilación fraccionada, pero la

diferencia básica con la descrita inicialmente, que fraccionaba el petróleo crudo a presión atmosférica, es que esta nueva torre está sometida a vacío y su carga es el "residuo atmosférico", o sea lo que queda en el fondo de la primera torre de destilación, que vuelve a redestilarse de nuevo calentando a una temperatura mayor de 400°C.

En esta torre de vacío es donde se obtiene la materia prima para la fabricación de los aceites lubricantes, extrayéndose de este nuevo proceso de destilación un gas-oil por cabeza y tres cortes laterales que se les puede denominar LUBE ligero- medio y pesado, y un residuo de vacío por fondo.

Con estos tres Cortes laterales y el residuo de vacío, una vez tratados y refinados, en otras unidades que describiremos a continuación es de donde partimos para obtener las bases de los aceites lubricantes. (Ver Fig. 2).

1.3. DESCRIPCION DE LAS UNIDADES DE REFINO DE ACEITES BASE.

1.3.1. Unidad de Desasfaltado.

La carga a esta unidad es el residuo de vacío, o sea, la parte más pesada, que es de donde se obtienen las fracciones de lubricantes de mayor viscosidad y de mayor valor. El porcentaje de residuos pesados y asfálticos que contiene esta fracción de petróleo bruto es variable y depende fundamentalmente de la procedencia del crudo.

Esta unidad de refino es la encargada de eliminar los componentes

DESTILACION A VACIO

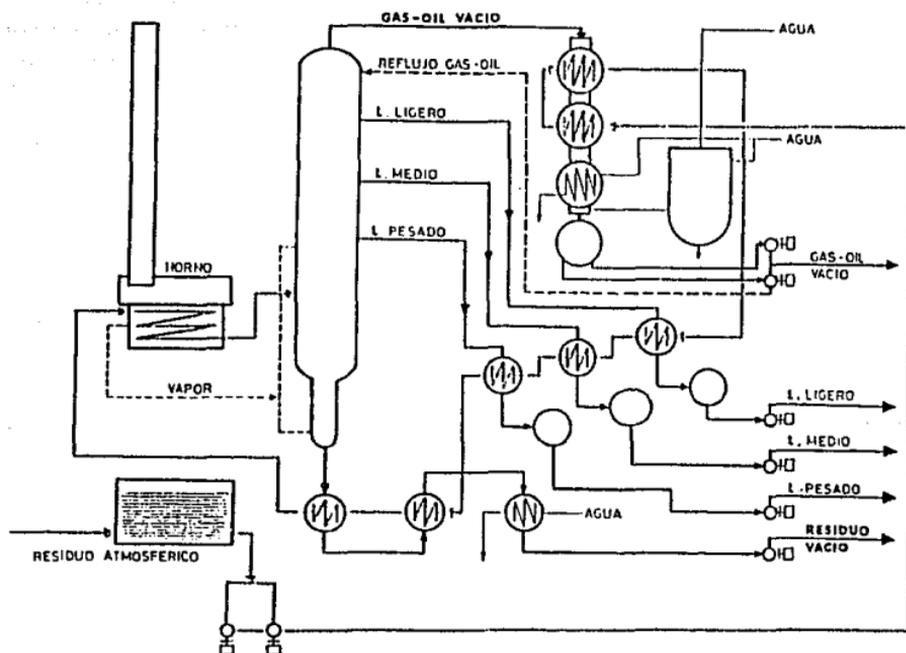


Fig. 2

asfálticos y metálicos, muy perjudiciales para la preparación de lubricantes líquidos.

La eliminación de estos componentes se hace con propano dentro de una torre a contracorriente y, según la proporción propano-residuo de vacío y temperatura de extracción, varía la precipitación o arrastre de las materias asfálticas.

El propano se recupera posteriormente de la fase de aceite y de la fase de asfalto.

Según tratamiento y porcentaje de propano, podemos obtener en esta unidad dos productos base, denominados BS (Bright Stock) y CS (Cylinder Stock).

1.3.2. Unidad de Furfural.

En esta unidad se tratan los Cortes Lu-1, Lu-2 y Lu-3, y BS, con la finalidad de eliminar las materias nocivas y obtener bases con un buen índice de viscosidad y un adecuado grado de refinado, eliminando parte de los hidrocarburos aromáticos y nafténicos.

Actualmente se utiliza para eliminar estos compuestos, solventes selectivos que tengan una gran afinidad con ellos, dejando inalterados los compuestos parafínicos.

Generalmente se suelen utilizar; el furfural, el fenol y duesol y el anhídrido sulfuroso. El más extendido es el furfural aldehído.

El contacto entre el aceite y el solvente se realiza por circulación a contracorriente en una torre; las distintas proporciones de solvente y las temperaturas de operación son variables en función de la intensidad del tratamiento que se requiera. Obteniéndose aceites bases con índices de viscosidad entre 75-90 y 100, según la calidad que se desee y el uso a que se destinen dichas bases.

El furfural se recupera posteriormente de la base refinada y de la base extracto.

1.3.3. Unidad de Desparafinado.

Los productos que carga esta unidad son todos los obtenidos y tratados en las unidades anteriores de desasfaltado y furfural; o sea; los Lu-1, Lu-2 y Lu-3 de distintos índices de viscosidad, y los BS y BC de desasfaltado.

Si partimos de crudos parafínicos para la obtención de aceites lubricantes, estas bases poseen elevados puntos de congelación, debido a su contenido en parafinas, que tenemos que eliminar para obtener bases con puntos de congelación apropiados en función de sus aplicaciones y servicios a que se destinan, y asimismo para que sean manejables y no se solidifiquen incluso a las temperaturas ambiente.

Para ello hay que utilizar un solvente que disuelva el aceite y precipite las parafinas de cadena lineal y alto peso molecular.

El disolvente utilizado es una mezcla de MEK (metil-etil-cetona) y de

benceno-tolueno, en proporciones variables (normalmente 50% de MEK, 25% de benceno y 25% de tolueno, según el grado de desparafinado que se quiera conseguir). Este disolvente tiene la propiedad de seleccionar a los hidrocarburos disolviendo a los de baja congelación, y precipitando a los de punto de congelación elevada en forma de cristales sólidos o parafinas.

La operación se realiza mezclando una cantidad variable de disolvente, con el producto a desparafinar, enfriando la mezcla obtenida a la temperatura de congelación que deseamos en el producto acabado. Al final del circuito de refrigeración y bajo la acción de la temperatura y del disolvente se separan dos fases, mediante unos filtros de tambores rotatorios de velocidad variable y con una superficie filtrante de un tejido especial de algodón. Estas fases son: una líquida que contiene el aceite base y la mayor parte de disolventes, y otra sólida que contiene los cristales de parafina y una pequeña cantidad de disolvente.

Después se recupera de ambas fases el disolvente y habremos obtenido por una parte parafina y por otra el aceite base desparafinado a la temperatura deseada.

1.3.4. Unidad de Acido.

En esta unidad solamente se tratan una o dos bases de alto índice de viscosidad (D2-100 y D3-100), para obtener aceites de elevadas exigencias, como son los aceites de alta calidad o super para turbinas de vapor, donde se exigen larguísimos períodos de vida útil, y requieren siempre ir aditivados. Se utiliza ácido sulfúrico del 98% en dosis del 2%. Este sulfona

ciertas sustancias indeseables de tipo aromático, precipitando sulfonatos de petróleo, que no han podido ser eliminados totalmente en la unidad de furfural.

Este tratamiento sólo es recomendable para aceites a los que posteriormente deban incorporarse aditivos protectores, pues con este tratamiento juntamente con las sustancias nocivas que se eliminan, también se eliminan ciertos protectores naturales, que posteriormente tenemos que incorporar mediante la adición de ciertos tipos de aditivos, siendo la actuación y comportamiento de los mismos mucho más eficaz con las bases tratadas en ácido que si no se hubiesen tratado.

1.3.5. Unidad de Tierras.

En esta unidad se tratan entre otras indispensablemente las bases que han pasado por la unidad con el fin de neutralizar las trazas de éste que puedan quedar retenidas en el aceite.

También algunas bases Lu-1, Lu-2 y Lu-3 de distintos índices de viscosidad y puntos de congelación, para preparar ciertos tipos de aceite donde se requieran eliminar, de acuerdo con su aplicación, las sustancias coloidales en suspensión, la absorción de ácidos orgánicos y atenuar o reducir su color, así como eliminar su grado de humedad.

Pueden utilizarse para ello tierras naturales o activadas. El aceite se mezcla íntimamente con una cantidad dosificada de tierra, se calienta la mezcla en un horno tubular pasando a una torre de vacío.

La separación de la tierra se realiza en filtros de tipo bolsa, y posteriormente en filtros prensa.

No obstante, estos dos últimos procesos "Acido" y "Tierras" en la actualidad ya no son operativos y han quedado prácticamente obsoletos, habiéndose sustituido por los tratamientos de desulfuración ferrofining o hidrogenación catalítica.

1.3.6. Tratamiento por Hidrogenación Catalítica.

Puede también utilizarse este método para la obtención de aceites de calidad excepcional, con una gran resistencia a la oxidación y elevados índices de viscosidad naturales. Consiste en hacer pasar el aceite e hidrógeno a través de un lecho catalítico bajo condiciones variables de presión y temperatura. Sus bases suelen utilizarse para aceites de transformadores - turbinas y multigrados naturales.

Una vez comprendido como se obtienen los aceites base mediante los tratamientos anteriormente expuestos, podemos empezar a analizar el tema de los lubricantes, que es el resultado de la mezcla de los aceites base con aditivos.

1.4. ACEITES LUBRICANTES.

1.4.1. Definición.

Un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintético que puede utilizarse para reducir el

rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

1.4.2. Clasificación.

| | | |
|------------------|---|---|
| S/ Estado | { Sólidos Semisólidos Líquidos | *grafito y sulfuro de molibdeno *grasas *aceites |
| S/ Naturaleza | { Parafínicos | *Alto índice de viscosidad. *Baja volatilidad. *Bajo poder disolvente: sedimentos. *Alto punto de congelación. |
| | { Nafténicos | *Bajo índice de viscosidad. *Densidad más alta. *Mayor volatilidad. *Bajo punto de congelación. |
| | { Aromáticos | *Índice de viscosidad muy bajo. *Alta volatilidad. *Fácil oxidación. *Tendencia a formar resinas. *Se emulsionan con agua fácilmente. |

1.4.3. Fabricación.

Los procesos a seguir para la obtención de las distintas clases de aceites lubricantes, tanto los tipos destinados a la industria como los de automoción, son los siguientes:

a) Las bases con los distintos tratamientos de refinado anteriormente descritos pasan a la planta de mezclas.

b) Se efectúan las mezclas de estas bases (dos máximo) para obtener

las viscosidades y calidades requeridas.

c) Se complementan sus características incorporando a aquellos que lo requieren, distintos tipos de aditivos de acuerdo con su aplicación y posterior servicio.

1.5. ADITIVOS LUBRICANTES.

Como aditivos lubricantes se entienden aquellos compuestos químicos destinados a mejorar las propiedades naturales de un lubricante, y, conferirle otras que no poseen y que son necesarias para cumplir su cometido.

Las exigencias de lubricación de los modernos equipos y grandes máquinas en general, así como los motores de combustión interna de muy altas revoluciones y pequeño cárter, obliga a reforzar las propiedades intrínsecas de los lubricantes, mediante la incorporación de los aditivos químicos en pequeñas cantidades; y el hecho de que con pequeñas cantidades de estos compuestos químicos se modifique profundamente el comportamiento de los aceites, ha hecho que se generalice mucho su empleo.

1.5.1. Propiedades generales de los aditivos.

Los aditivos se incorporan a los aceites en muy diversas proporciones, desde partes por millón, hasta el 20% en peso de algunos aceites de motor. Cada aditivo tiene una o varias misiones que cumplir, clasificándose al respecto, como uni o multifuncionales.

Fundamentalmente, los aditivos persiguen los siguientes objetivos:

- a) Limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno o cavidad.
- b) Proteger a la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.
- c) Mejorar las propiedades físico-químicas del lubricante o proporcionarle otras nuevas.

1.5.2. Actuación de un aditivo frente a otro y ante el aceite base.

Naturalmente, los aditivos deben ser solubles en el aceite base, y el efecto que le confieren es, en algunos casos, peculiar para el aceite en el que se incorpora, o sea, que un aditivo que es efectivo en un aceite puede no serlo, al menos en el mismo grado, en otro. A esta propiedad se le puede denominar susceptibilidad del aceite para con el aditivo.

Al formular la composición de un aceite multiaditivado, se tiene muy en cuenta el comportamiento de los distintos aditivos entre si. Su compatibilidad es una característica muy importante.

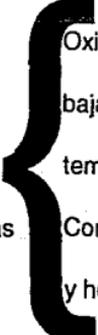
En mezcla con el aceite, dos o más aditivos son compatibles si no dan lugar a reacciones que formen compuestos indeseables o que mermen considerablemente, o bien anulen los efectos que se persiguen. Por otra parte, se da el caso, debido a un efecto de sinergismo, de que algunos

aditivos vienen a reforzar la acción propia de otros. Por todo lo expuesto, se comprende que cuando sea necesario el reponer nivel en un sistema que contenga aceite aditivado, se utilice siempre el mismo tipo que se está usando. Hoy en día, la mayoría de lubricantes necesitan de su aditivación para llevar a buen fin la misión que se les encomienda. Conforme los aditivos se van degradando con el uso, el aceite va perdiendo sus propiedades iniciales, y por ello se comprende que sea necesario el respetar los periodos estipulados para la renovación de aquél no sobrepasándolos.

Los aditivos normalmente utilizados en aceites lubricantes podríamos clasificarlos en los siguientes grupos según sus propiedades:

1.5.3. Clasificación de los Aditivos.

PROPIEDADES SOBRE LAS QUE ACTUA TIPOS DE ADITIVOS

| | | | |
|-------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|
| a) Propiedades físicas |  | viscosidad | Mejorador del I. V. |
| | | congelación | Depresor del p. de congelación. |
| b) Propiedades químicas |  | Oxidación a baja y alta temperatura | Anti-oxidantes |
| | | Corrosiones | Anti-corrosivos |
| | | y herrumbre | Anti-herrumbre |

c) Propiedades

físico-

químicas

Detergentes-
dispersantes
y antioxidantes

Detergentes y antioxi-
dantes o multifuncio-
nales (HD)

Aditivos de
extrema presión
para engranajes

De untuosidad, antico-
rosiva u de E. P.

Antiespumantes

Contra formación de es-
puma.

Emulgentes

Emulsionantes.

1.6. ACTUACION SOBRE PROPIEDADES FISICAS.

1.6.1. Mejoradores del Indice de Viscosidad (I.V.).

Estos aditivos no modifican las propiedades intrínsecas del aceite, tales como la estabilidad térmica y química, siendo además compatibles con otro aditivo .

La acción de estos aditivos sobre el aceite se traduce en: un espesamiento general del aceite más pronunciado a temperaturas elevadas que se traduce en un aumento del I. V.

El índice de viscosidad es un número arbitrario, calculado mediante la determinación de la viscosidad del lubricante tomada a dos distintas temperaturas, el cual indica la resistencia que tiene un lubricante a cambiar su viscosidad con la temperatura. Cuando el valor de índice de viscosidad es más alto, aumenta la resistencia del lubricante a espesarse a bajas temperaturas y a licuarse a altas.

El valor del I. V., con que se formula un lubricante, depende del uso del mismo. Los aceites para motor y los fluidos para transmisiones automáticas normalmente tienen un I. V. entre 85 y 150, mientras que algunos aceites hidráulicos y aceites especiales requieren valores del I. V. de 200 o más.

Los mejoradores del I. V. son productos químicos que se agregan a los aceites lubricantes con la finalidad de obtener un producto lo más cercano posible al lubricante ideal, por ejemplo, uno cuya viscosidad permanezca inalterable por los cambios de temperatura.

1.6.2. Depresores del punto de congelación.

Cuando un aceite procedente de crudos parafínicos se le somete a temperaturas bajas, sufre un cambio notable en su estado físico consistente en una congelación total. Esto es debido al alineamiento natural de los hidrocarburos que componen la masa de aceite, provocando la cristalización a bajas temperaturas de la parafina presente en las fracciones de estos tipos de lubricantes. Al ocurrir la cristalización, la parafina tiende a formar redes internas que absorben aceite formando masas gelatinosas de gran

volumen, las cuales restringen el flujo o escurrimiento del aceite.

Para obtener aceite de bajo punto de congelación hay que eliminar estos productos, y esto se obtiene en la unidad de desparafinado.

En algunos casos en que el tratamiento en desparafinado no se efectúe muy severo para ciertos aceites en función de su servicio, se les puede añadir un depresor del punto de congelación en concentraciones inferiores a 0.25%.

Los depresores del punto de congelación son productos químicos que modifican el proceso de cristalización de la parafina, de tal modo que el aceite puede escurrir a baja temperatura.

1.7. ACTUACION SOBRE PROPIEDADES QUIMICAS.

1.7.1. Antioxidantes.

En términos generales, la oxidación esta influenciada por los siguientes parámetros:

Temperatura - oxígeno - tiempo - impurezas químicas en el aceite y catalizadores.

En consecuencia, el aceite atraviesa por una serie compleja de reacciones de oxidación, existiendo varias teorías sobre este fenómeno, pero la más clara es la llamada de radicales libres, donde la auto-oxidación se forma en tres fases: iniciación, propagación y fase final, la cual se

caracteriza por la combinación de radicales libres de moléculas inertes y por la transformación de hidroperóxidos en aldehídos y en ácidos. Como consecuencia de esta polimerización, el aceite se enturbia, aumenta la viscosidad y se forman lodos.

Los antioxidantes o inhibidores de oxidación, son aditivos que se emplean para reducir estos efectos nocivos de la oxidación del aceite. Estos son sustancias capaces de retardar o impedir la fijación de oxígeno libre sobre los compuestos autooxidables, y por consiguiente la polimerización de éstos.

1.7.2. Anticorrosivos.

El término de "inhibidor de corrosión" se aplica a los productos que protegen los metales no ferrosos, susceptibles a la corrosión, presentes en un motor o mecanismo susceptible a los ataques de contaminantes ácidos presentes en el lubricante. Por lo general, los metales no ferrosos en un motor se encuentran en los cojinetes.

Los primeros tipos de inhibidores de corrosión que se utilizaron en aceites de motor fueron los fosfitos orgánicos. La mayoría no eran productos puros, sino mezclas de mono, di y tri organofosfitos, obtenidos mediante la reacción de alcoholes o hidroxísteres con tricloruro de fósforo.

Por 1945 la mayoría de inhibidores a base de fosfitos se sustituyeron por compuestos de azufre y fósforo, los cuales se siguen utilizando comercialmente hasta la fecha.

1.7.3. Antiherrumbre.

El término antiherrumbre se usa para designar a los productos que protegen las superficies ferrosas contra la formación de óxido.

En los sistemas de lubricación recirculante, tales como los utilizados en turbinas, trenes de laminación, circuitos hidráulicos, calandras, etc., el aceite utilizado debe soportar la presencia de agua, libre y/o disuelta en el mismo. Dicha agua procedente en la mayoría de los casos de condensación, conduce a la formación de herrumbre en las superficies de hierro o acero de los sistemas que contienen el aceite. Lo mismo sucede en el interior de cárters o alojamientos para el aceite de engranajes, cojinetes, compresores, motores de explosión, etc.

Si una película de aceite permanece sobre las superficies férreas, se evita su herrumbre incorporando al aceite aditivo con una especial atracción polar hacia dichas superficies. Se consigue la formación de una película muy tenaz que actúa de barrera contra la humedad.

Los aditivos anti-herrumbre son compuestos polares que desplazan la humedad que puede estar presente sobre las superficies metálicas, y forman la película protectora antes mencionada, gracias a fenómenos de absorción que hacen que sus moléculas queden fuertemente ligadas al metal, separándose del aceite.

1.8. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS.

1.8.1. Detergentes.

Como aditivos detergentes se entienden aquellos productos capaces de evitar o reducir la formación de depósitos carbonosos en las ranuras de los motores de combustión interna cuando operan a altas temperaturas, así como la acumulación de depósitos en faldas de pistón, guías y vástagos de válvulas.

Como aditivos antiácidos, alcalinos o superbásicos (que de todas estas formas se denominan), se entienden aquellos productos generalmente del tipo detergente, que poseen una reserva alcalina capaz de neutralizar los ácidos que se originan de la combustión del azufre presente en el combustible. Dicha alcalinidad se expresa en T. B. N. (Total Base Number).

Los aceites de motor se ven expuestos a operar bajo la acción de elevadas temperaturas, que tienden a originar cambios en la naturaleza química del aceite, dando lugar a productos de oxidación. Estos productos, insolubles en el aceite, aparecen como diminutas partículas y llegan a aglomerarse o a depositarse en las partes internas del motor. Las primeras se sedimentan en el cárter como lodos con aspecto alquitranoso, y las otras se depositan en la camisa de pistón formando lacas y barnices.

Sin la ayuda de un aceite detergente apropiado, el aceite no puede desprender o mantener en suspensión los depósitos que se producen.

Resulta muy común confundir los términos detergente y dispersante

por cuanto que la limpieza del motor se asocia más con la propiedad detergente que la dispersante. Como dispersante, ya veremos, se entienden aquellos productos capaces de impedir la precipitación de los originados como consecuencia de operar los motores de combustión interna a bajas temperaturas con abundante condensación de agua sobre el aceite.

1.8.2. Dispersantes.

El término dispersante se reserva para designar aquellos aditivos capaces de dispersar los <lodos húmedos> originados en el funcionamiento frío del motor. Suelen estar constituidos por una mezcla compleja de productos no quemados de la combustión, carbón, óxidos de plomo y agua. Los dispersantes recubren a cada partícula de una película por medio de fuerzas polares, que repelen eléctricamente a las otras partículas, evitando se aglomeren, o sea, que actúan como acción complementaria de los detergentes que ejercen cierta acción dispersante sobre los lodos del cárter, pero solamente operan cuando las temperaturas del motor son las normales. Para bajas temperaturas del motor, la investigación se orientó hacia el desarrollo de compuestos orgánicos libres de metal, los cuales se denominaron originalmente: detergentes sin cenizas o dispersantes.

1.8.3. Aditivos multifuncionales.

Son aquellos que en una sola molécula encierran propiedades múltiples: Detergente / antioxidante / dispersante / mejorador del índice de viscosidad, etc.

1.8.4. Aditivos de Extrema Presión - E. P.

Como aditivos de extrema presión o E.P. se denominan aquellos productos químicos capaces de evitar el contacto destructivo metal-metal, una vez que ha desaparecido la película clásica de lubricante de una lubricación hidrodinámica. Cuando esto ocurre, se dice que llegamos a una <lubricación límite>.

Esencialmente, todos los aditivos E. P. deberán contener uno o más elementos o funciones, tales como azufre, cloro, fósforo o sales carboxílicas, capaces de reaccionar químicamente con la superficie del metal bajo condiciones de lubricación límite.

La facilidad o <actividad> con que un aditivo E. P. puede reaccionar químicamente con la superficie del metal, determina en gran medida la aplicación del mismo.

1.8.5. Antiespumantes.

Cuando un aceite está sometido a una acción de batido o agitación violenta, en presencia de aire, éste queda ocluido en la masa de aquél en forma de burbujas de distinto tamaño que tienden a subir a la superficie, formando espuma más o menos persistente. Las burbujas de mayor tamaño se rompen con más facilidad que las pequeñas, jugando un importante papel en estos procesos de rotura la tensión superficial del aceite. La tendencia en la formación de espuma viene incrementada por:

Temperaturas bajas, viscosidad alta, presencia de agua, velocidades

de agitación elevadas y tensiones superficiales altas.

La presencia de espuma es siempre perjudicial en los sistemas de lubricación, ya que puede plantear problemas de reboses en recipientes y cajas de engranajes, interferencias en la formación de la cuña hidrodinámica en los cojinetes, con el consiguiente riesgo de fallos mecánicos, y, finalmente, y debido a que el aire es comprensible, un comportamiento irregular o errático en la transmisión de potencia en los sistemas hidráulicos.

Los problemas que crea la espuma pueden eliminarse adicionando a los aceites aditivos antiespumantes que disminuyen el valor de la tensión superficial del aceite.

1.8.6. Aditivos Emulsionantes.

Estos se emplean en los aceites que se destinan a la lubricación de maquinaria expuesta al agua, pues se forma una emulsión perfecta con ésta, evitando que el aceite sea desplazado o lavado con los órganos a lubricar.

Estos aditivos mejoran la estabilidad de las emulsiones, al descender la tensión interfacial del sistema y proteger las gotas de agua por una película interfacial.

Estas emulsiones estables son generalmente indeseables para cualquier otro mecanismo; por tanto, sólo se recomiendan en aquellos casos que el servicio lo requiera, pues una emulsión estable reduce el poder lubricante (favorece la formación de herrumbre, y si existen filtros de aceite,

éstos se obstruyen).

1.9. PROPIEDADES FISICAS DE LOS LUBRICANTES.

1.9.1. Color y Fluorescencia.

Actualmente estas características carecen de valor como criterio de evaluación de los aceites terminados, ya que pueden ser modificados o enmascarados por los aditivos. Sin embargo hace unos años los usuarios daban una gran importancia al color de los aceites, como indicativo de un mejor o peor grado de refinación, y por otro lado la fluorescencia se tomaba como indicativa del origen del crudo.

Así la fluorescencia azulada caracterizaba a los aceites nafténicos y la fluorescencia verde a los parafínicos.

En los aceites en servicio, un cambio de color puede alertar sobre una posible alteración en su integridad, deterioro, contaminación, etc.

1.9.2. Densidad.

La densidad de los aceites lubricantes está relacionada con la naturaleza del crudo y el punto de destilación de la fracción, para fracciones equivalentes los aceites parafínicos son de menor densidad y los aromáticos los de mayor densidad, correspondiendo a los tipos nafténicos las densidades intermedias.

La terminología que se emplea al referirse a esta característica puede

conducir a ciertas confusiones, por lo que vamos a definir los términos que aparecen con más frecuencia.

La densidad es la razón entre el peso de un volumen dado del aceite y el peso de un volumen igual de agua.

Density según la bibliografía anglosajona la define como <el peso en el vacío de una unidad de volumen de una sustancia dada>.

Specific gravity o gravedad específica se define como la relación entre el peso de un cierto volumen del producto y el peso del mismo volumen de agua a 60°F.

Grados API también suele darse en E.E.U.U. como característica en vez de la densidad de su API. Gravity (American Petroleum Institute), su fórmula de conversión es:

$$\text{Grados API} = \frac{141,5}{\text{Densidad a } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

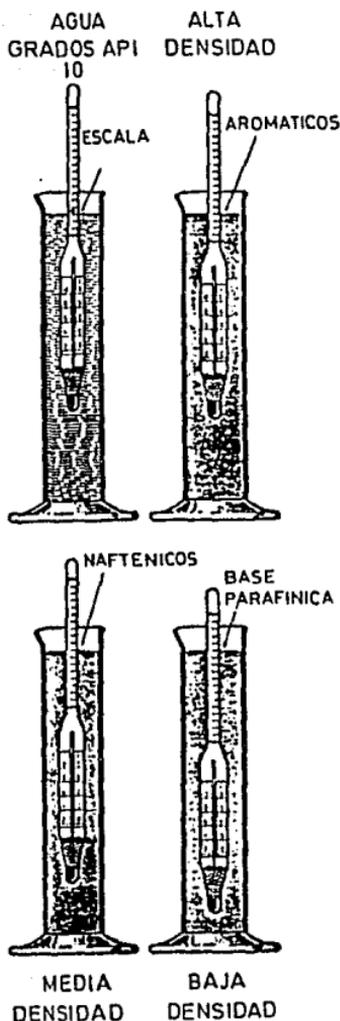
(De tablas de conversión)

EMP viene utilizando la ASTM-D-1298 a 15°C=60°F.

Las temperaturas estándar según los países tanto para el aceite como para el agua son 60°F, 15°C y 20°C.

Esta característica tiene cierta importancia en el campo comercial ya que permite convertir el volumen en peso, e indicativa del tipo de crudo del que procede el aceite. (Ver Fig. No. 3.)

DENSIDAD



● ES LA RAZON ENTRE EL PESO DE UN VOLUMEN DADO DE ACEITE Y EL PESO DE UN VOLUMEN IGUAL DE AGUA.

EN EE.UU LA TEMP. ESTANDARD PARA AGUA Y ACEITE ES DE 60°F. EN OTROS PAISES, 15°C (59°F) Y 20°C (68°F), PARA EL ACEITE Y 4°C PARA EL AGUA. SI BIEN EN ALGUNOS CASOS SE UTILIZAN 15°C PARA EL AGUA Y EL ACEITE. EL VALOR DE LA DENSIDAD ES PRACTICAMENTE EL MISMO SI SE TOMAN 15°C PARA EL ACEITE Y 4°C PARA EL AGUA.

$$\text{GRADOS API} = \frac{141.5}{\text{Densidad}} - 131.5$$

$$\text{DENSIDAD} = \frac{141.5}{\text{Grados API} + 131.5}$$

Fig. 3

1.9.3. Viscosidad.

La propiedad física más importante de un lubricante líquido es su viscosidad. En términos sencillos, la viscosidad de un líquido puede definirse como su resistencia a fluir y como una medida del rozamiento entre sus moléculas. Como la resistencia a fluir depende de las fuerzas intermoleculares que se desarrollan en el interior del líquido, es de éstas de quien dependerá finalmente la resistencia mecánica observada cuando se hace deslizar una capa de líquido sobre otra capa adyacente de este mismo líquido.

Por ello se comprende fácilmente que la viscosidad de un fluido tan complejo como un aceite mineral puede verse modificada considerablemente, de una parte, por las variaciones internas de su composición y estructura, determinadas por el origen del petróleo crudo y su proceso de refinado, y por otra por las condiciones externas tales como la temperatura y la presión, que pueden influir sobre las fuerzas moleculares.

1.9.4. Sistemas y Unidades de Mayor Uso.

- En el C.G.S. su unidad es el <Poise> en honor del Dr. Poiseuille, francés experto en el movimiento de los fluidos a través de tubos capilares. Pero es más usual utilizar el <centipoise>.
- En el sistema Internacional (S.I.) se le denomina Poiseuille.
- En el inglés <Reyn> en honor a Sir Osborne Reynolds, esta unidad es bastante grande y se emplea su millonésima parte, designada como

<microreyn>.

La unidad de viscosidad cinemática es el <Stoke> pero por resultar bastante grande se suele utilizar su centésima parte o <Centistoke>.

1.10. PROPIEDADES SUPERFICIALES.

1.10.1. Tensión Interfacial.

Cuando se ponen en contacto dos líquidos que no son miscibles, se crea una interfase, el grado de resistencia que ofrecen ambos líquidos a su separación se define como <tensión interfacial>. Los factores que influyen sobre la tensión interfacial son los siguientes:

- a) La naturaleza química de los líquidos en contacto.
- b) La temperatura, si la miscibilidad de los líquidos en contacto aumenta con la temperatura el valor de la tensión interfacial disminuye.
- c) La presencia de cuerpos polares rebaja la tensión interfacial.

La tensión interfacial se utiliza como indicativo de la presencia o ausencia de compuestos polares en muy bajas concentraciones, como es el caso de ciertos contaminantes, aditivos, o productos, de la degradación del propio aceite. Por ello dicho valor se considera de importancia en el caso de los aceites de turbinas y dieléctricos, siguiéndose su evolución durante su servicio.

1.10.2. Formación de Espuma.

Un aceite produce espuma superficial por agitación energética con el aire u otro gas, estando dicha espuma constituida por agrupamiento de un elevado número de burbujas de distintos tamaños.

La presencia de espuma resulta siempre perjudicial en la lubricación, ya que puede dar lugar a los siguientes inconvenientes: comportamiento errático en los mandos de los sistemas hidráulicos, cavitación en las bombas, fallos en la lubricación de cojinetes, aceleración del proceso de oxidación de los aceites, derrames en depósitos, etc.

1.10.3. Emulsibilidad.

Por medio de este ensayo se mide la capacidad de un aceite a separarse del agua, en condiciones normalizadas. Una vez provocado el contacto íntimo agua-aceite, por medio de una fuerte agitación, se observa la forma en que se produce su separación, deduciéndose así la capacidad del aceite para eliminar el agua por decantación.

Esta característica es de especial importancia en el caso de aceites de turbina, hidráulicos y en general de todos aquellos expuestos a trabajar en contacto con el agua, siendo la presencia de ésta generalmente muy perjudicial para la lubricación en general. Deseándose por tanto que la emulsión sea inestable y ésta lo es si desaparece al terminar la acción que la originó o después de un cierto tiempo de reposo; si persiste se trata de una emulsión estable. Los factores que favorecen la estabilidad de las

emulsiones son:

- a) Una tensión interfacial suficientemente baja.
- b) Viscosidad muy elevada del aceite.
- c) Pequeña diferencia de densidad entre ambos líquidos.

1.11. PROPIEDADES TERMICAS.

1.11.1. Puntos de Inflamación y Combustión.

El punto de inflamación de un aceite es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores para inflamarse, momentáneamente, al serle aplicada una llama.

La temperatura de inflamación se determina calentando la muestra en aparatos normalizados y aplicando una pequeña llama en la proximidad de su superficie.

La inflamabilidad de un aceite da una orientación sobre la volatilidad del mismo, posibles contaminaciones o diluciones, riesgos de incendios y procedimientos no ortodoxos en la elaboración de los aceites.

1.11.2. Puntos de congelación y enturbiamiento

El punto de congelación (<pour point>) de un aceite es la temperatura más baja expresada en múltiplo de 3 C, a la cual es observada la no fluidez del aceite cuando es enfriado y examinado bajo condiciones prescritas.

El punto de enturbiamiento (<cloud point>) de un aceite, sometido a un proceso de enfriamiento, es la temperatura a la que las parafinas u otras sustancias en solución, comienzan a separarse, en forma de cristales (cristalización), bajo las condiciones normalizadas del ensayo. El aceite, a esa temperatura, adquiere una turbidez que da nombre al ensayo.

Ambas características tienen significación para los casos en los que el aceite vaya a estar sometido a bajas temperaturas de trabajo, especialmente antes de la puesta en marcha del mecanismo a lubricar. En los aceites parafínicos la congelación se produce como consecuencia de la cristalización de la parafina. Por eso en ellos existen puntos de niebla y de congelación.

1.12. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS LUBRICANTES.

1.12.1. Número de Neutralización, (acidez, alcalinidad).

En un aceite, su grado de acidez o alcalinidad puede venir expresado por su número de neutralización, que se define como la cantidad de álcali o de ácido (ambos expresados en miligramos de hidróxido potásico), que se requiere para neutralizar el contenido, ácido o básico, de un gramo de muestra, en las condiciones de valoración normalizadas del correspondiente ensayo.

La acidez y alcalinidad de un aceite puede dar indicaciones de importancia sobre su grado de refinado, su aditivación, contaminantes y

especialmente, en el seguimiento analítico de su vida útil en servicio, en función de la evolución de otras características del lubricante.

1.12.2. Residuo de Carbón.

El residuo de carbón se define como el porcentaje de depósitos carbonosos que se obtienen al someter a una muestra de aceite a evaporación y pirólisis en las condiciones normalizadas del ensayo.

Esta característica permite obtener, siempre con reservas, algunas conclusiones sobre la tendencia a la carbonización de los aceites. Por ello, es de interés en el caso de la lubricación de motores de combustión interna, compresores de aire y mecanismos sometidos a muy altas temperaturas, así como en el caso de aceites transmisores de calor (termofluidos).

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE LUBRICACION

Al seleccionar los aceites ó grasas para lubricar cualquier tipo de maquinaria se tiene un extremo cuidado para evitar problemas que puedan ocasionar desgaste al equipo. Sin embargo, algunas veces en la selección del método para lubricar, no se presta la misma importancia que se da al lubricante utilizado. El método seleccionado, los accesorios con los cuales se aplicará el lubricante y el tipo de instalación de un sistema contribuirán a una lubricación eficiente y económica de la maquinaria.

El sistema seleccionado deberá ser compatible económicamente con el equipo que será lubricado, tanto en los costos iniciales como en los relacionados al mantenimiento subsecuente. En algunas aplicaciones la contaminación del lubricante no deberá ser permitida, por lo que el sistema seleccionado tendrá otra restricción. En la manera en que el sistema seleccionado busque la seguridad del personal, el ahorro de costos y el aumento de la vida del lubricante se tendrá mayores ventajas respecto a los demás.

Cada sistema de lubricación tiene un área de aplicación en la cuál su desarrollo es óptimo. No existe ningún sistema que sea solamente aplicable a cierto tipo de servicio. Así un sistema que ofrezca mayores ventajas respecto a otro para una aplicación, podrá tener desventajas al compararse con otro para otro tipo de servicio. Para seleccionar el mejor sistema de

lubricación para una aplicación particular, se deberá tener un conocimiento físico del diseño del equipo así como de las características requeridas de su lubricación.

El contenido de este capítulo será el relacionado a la información de los diversos sistemas de lubricación, mencionando sus ventajas y aplicaciones más frecuentes. Debido a que el tema principal es el referente al sistema de lubricación a base de niebla, la información sobre éste será ampliada en los subsiguientes capítulos, por lo que aquí sólo trataremos algunas características esenciales de los mismos.

2.1. CARACTERISTICAS.

Para evaluar un sistema particular de lubricación para una aplicación en específico, ciertas características deberán ser evaluadas. El siguiente criterio puede servir como una guía para la selección del método requerido.

En general, las características de los sistemas de lubricación los podemos clasificar de la siguiente forma:

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE LUBRICACION.

- | | | |
|-----------------------------|---|-----------------|
| A).Entrega de Lubricante | } | 1.Regulación |
| | | 2.Adaptabilidad |
| | | 3.Uniformidad |
| | | 4.Continuidad |

- B).Confiabilidad
- 1.Elemento Humano
 - 2.Operación Automática.
 - 3.Operación Positiva
 - 4.Resistencia a la Contaminación.

- C).Consideraciones Económicas.
- 1. Costo Inicial.
 - 2. Costo Mantenimiento.

- D).Consideraciones de
Diseño
- 1.Accesibilidad
 - 2.Seguridad
 - 3.Pérdida de Lubricante
 - 4.Consistencia en el Diseño.

A) Entrega de Lubricante.

Se refiere a la cantidad (flujo) de aceite que un lubricador o sistema pueda proporcionar a un equipo y engloba los siguientes aspectos:

A.1) Regulación. Demasiado lubricante puede ser tan riesgoso como la aplicación de poco lubricante. El sistema de lubricación debe tener un dispositivo por medio del cuál el flujo de lubricante pueda ser regulado.

A.2) Adaptabilidad. En algunas aplicaciones las condiciones de

operación de la máquina varían. Frecuentemente, un aumento en la velocidad de operación requerirá un aumento de la cantidad de aceite que este siendo suministrado. El sistema de lubricación se considerará adaptable si es capaz de responder a estas variaciones en las condiciones de operación.

A.3) Uniformidad. Esta propiedad se relaciona con la habilidad del lubricador de entregar cantidades de lubricante por periodos de tiempo determinado sin que se tenga que hacer ningún ajuste. Los sistemas en los cuáles los cambios en el nivel de aceite provocan cambios en el flujo de lubricante no poseen uniformidad.

A.4) Continuidad. Se refiere a la manera en la cuál el lubricante se encuentra con la superficie que va a ser lubricada. En un intervalo de tiempo dado, se debe proveer la misma cantidad de aceite, ya sea por gotas ó por flujo continuo. No importa entonces la manera en que sea entregado el lubricante, sino que el régimen que se tenga en él sea continuo.

B) Confiabilidad.

Además de que el sistema de lubricación entregue la cantidad de lubricante en la manera correcta y en la cantidad requerida según las condiciones de operación, se debe tener confiabilidad en el sistema. Los siguientes factores influyen sobre este aspecto:

B.1) Elemento Humano. Cualquier método de lubricación en el cuál la intervención humana sea completa ó parcial, será tan confiable como lo sea

el operador en turno. Las funciones que requieran el juicio del operador, tales como la cantidad de aceite que deba ser suministrado ó el intervalo de estos, tendrán mayor probabilidad de error humano, que aquellas acciones en las cuales la intervención humana sea mínima (por ej., en donde el operador simplemente observe el nivel de aceite que se tenga y se deje el llenado a intervalos de tiempo establecidos por un mecanismo del sistema).

B.2) Operación automática. Un sistema de lubricación es considerado automático cuando es activado por la máquina que va a ser lubricada, iniciando y terminando el flujo de lubricante conforme la máquina se acciona ó se detiene. En general, los sistemas automáticos serán más confiables con respecto a aquellos en los que intervenga el elemento humano.

B.3) Operación Positiva. Un lubricador es clasificado como positivo si es capaz de desarrollar un aumento de la presión del lubricante cuando sea necesario, ya sea por obstrucción del paso del flujo o por interrupciones que se tengan en el equipo que está siendo lubricado y eviten el paso del lubricante hacia los equipamientos. Un lubricador deberá ser lo suficientemente adaptable para resistir cualquier cambio mecánico brusco en la operación de la máquina y que pueda evitar el flujo de lubricante.

B.4) Resistencia a la Contaminación. El grado en el cual un lubricador evita la contaminación del lubricante ya sea por polvos u otras partículas, aumentará la confiabilidad del mismo de diversas maneras. Si se llegara a tener contaminación del lubricante, las partículas formarían una superficie

abrasiva con los equipos lubricados, lo cual provocaría un serio desgaste a los mismos.

C) Consideraciones Económicas.

Un aspecto esencial en la selección del método de lubricación será el aspecto económico. Básicamente estas consideraciones deberán basarse en:

C.1) Costo Inicial. El costo inicial de cualquier equipo lubricador es fácil de determinar. Las ventajas de un costo inicial bajo pueden ser oscurecidas ó eliminadas por los costos subsiguientes que se tengan por mantenimiento del equipo.

C.2) Costos de Mantenimiento. El costo principal bajo este rubro es el relacionado con el de operación y servicio al equipo lubricador. Este costo depende del número y localización de los puntos a lubricar y la frecuencia que estos requieran de la supervisión de un operador. El costo del lubricante deberá ser tomado también en cuenta, ya que este podrá ser demasiado alto si el desperdicio del lubricante no se tiene controlado. Otros costos que deben ser incluidos son los debidos a cambios de piezas dañadas por una operación deficiente del lubricador o debidas a un error humano. No se tendrá que perder de vista aquellos costos indirectos debidos a estas fallas, como son los relacionados a los tiempos muertos o a los paros de línea.

D) Consideraciones de Diseño.

Estos factores se refieren a la manera en que el equipo lubricador deberá ser modificado para su adaptación a la maquinaria que vaya a lubricar. En forma sencilla estos aspectos son:

D.1) Accesibilidad. Debido a las precauciones que se deben tener respecto a la contaminación del lubricante, todos los equipos lubricadores deben tener una limpieza periódica y algunos otros deberán ser llenados otra vez si tienen depósitos de lubricante. Se deberá entonces diseñar la manera en que el equipo lubricador sea localizado en planta para evitar problemas de poca accesibilidad a él.

D.2) Seguridad. La seguridad va relacionada directamente con la accesibilidad y es tan importante en la lubricación como en la misma operación de la máquina. Si el diseñador no se propone tener un equipo lubricador seguro, las fallas que se tengan harán que el equipo sea difícil de mantener y por lo tanto la seguridad vaya en decremento.

D.3) Pérdida del Lubricante. En muchos casos es necesario mantener el nivel del lubricante correcto, tal como el que se tenía desde la operación inicial del equipo. La pérdida de lubricante en cualquier maquinaria deberá ser evitada, ya que esto provocará fallas mecánicas, decremento de seguridad en la zona de trabajo y equipos poco limpios y de difícil mantenimiento.

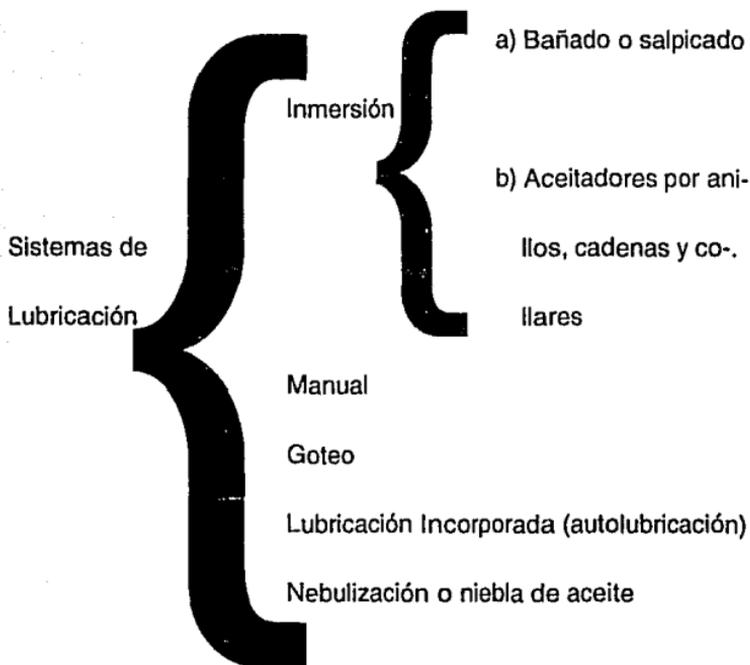
D.4) Consistencia en el Diseño. Es posible tener tantos equipos lubricados como equipos a lubricar se tengan, lo cual no es recomendable. Lo ideal será tener una instalación sencilla de equipos lubricadores que guarden entre sí una uniformidad, y de esta forma, se tendrán mayores ventajas respecto al mantenimiento que se tenga que realizar, así como el reducir los inventarios de partes de repuesto de estos equipos.

2.2. DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE LUBRICACION.

Como ya se comentó con anterioridad tenemos dos alternativas de lubricación: aceite o grasa. Por lo que se refiere a la grasa, ésta ha tenido un notable progreso en cuanto a su fabricación, dando como resultado grasas cada vez de mejor calidad, además si consideramos algunas razones técnicas y prácticas, en muchos casos la grasa será una decisión muy acertada.

Sin embargo, el tema principal de esta tesis es el Sistema de Lubricación a Base de Niebla de Aceite por lo tanto, el tema de las grasas tiene que ser motivo de otro estudio, ya que por su importancia, resultaría difícil analizarlas junto con el aceite.

En cuanto al aceite, los métodos de lubricación pueden ser muy variados y dependerán en gran parte del equipo rotativo. Dado el gran número de aplicaciones que tienen en la industria los sistemas de lubricación por aceite, los podemos dividir de la siguiente forma:



Es importante mencionar que pueden existir otros sistemas de lubricación o lubricadores en la industria, pero con toda seguridad serán únicamente una variante de los anteriormente expuestos. A continuación definiremos en forma general estos Sistemas de Lubricación así como sus aplicaciones y características.

2.2.1. Inmersión.

Este sistema también se denomina lubricación por nivel de aceite, donde los rodamientos están sumergidos en parte en aceite.

Los elementos rodantes se bañan en cada revolución de la jaula transmitiendo éste a las pistas y rebordes así como a las superficies de deslizamiento de la jaula.

En posición horizontal del eje de rodamiento, el nivel de aceite se dimensionará de forma que el cuerpo rodante más bajo o interior en reposo se sumerja aproximadamente hasta la mitad en el aceite. (Ver Fig. 4). Si el nivel de aceite es mayor, el aceite es salpicado en el alojamiento pudiéndose formar espuma y aumentar la temperatura.

En los soportes mayores con gran cantidad de aceite se diseñan paredes intermedias de acumulación comunicadas entre sí mediante orificios. Consiguiendo con esto que a grandes velocidades de giro no sea agitado todo el aceite y que la suciedad o contaminación quede depositada en las cámaras laterales (Ver Fig. 5). El plazo de renovación del aceite dependerá del grado de contaminación y envejecimiento del aceite.

Los parámetros que influyen en el rápido envejecimiento son: oxígeno, temperatura de servicio elevada y partículas abrasivas metálicas.

En términos generales en la Fig. 6 se indica de forma aproximada, con qué plazos hay que cambiar el aceite siempre que la temperatura del mismo no sobrepase los 70°C y que la contaminación con partículas extrañas y agua se escasa. La cantidad de partículas extrañas no debe sobrepasar normalmente el 2%.

LUBRICACION CON ACEITE
POR INMERSION

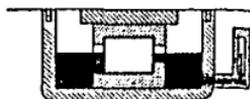


Fig. 4

Soporte con paredes de acumulación

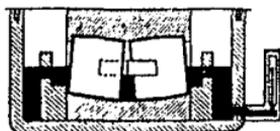


Fig. 5

LUBRICACION POR INMERSION
CANTIDAD DE ACEITE Y PLAZO
DE CAMBIO

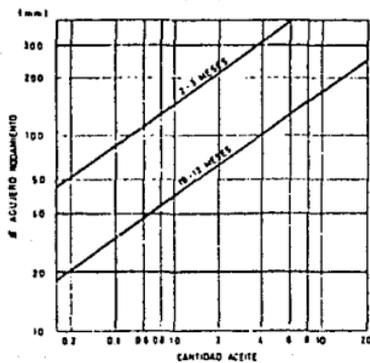


Fig 6

Como una variante del Sistema de Lubricación por inmersión, dado que tiene que existir nivel de aceite tenemos los siguientes casos:

a) LUBRICACION POR BAÑADO O SALPICADO.

Este tipo de lubricación es ampliamente utilizada para maquinaria que tenga partes móviles cuya velocidad sea alta, se introducen éstas en el aceite (nivel) y con cada revolución del elemento móvil (engrane, flecha, árbol de levas, etc.), se origina un baño que moja los elementos o rodamientos a ser lubricados. Un sistema por bañado o salpicado requiere en forma indispensable que la cámara o housing del mecanismo a ser lubricado esté perfectamente sellada.

El costo inicial de los sistemas por salpicado depende en principio del costo de sellar completamente el mecanismo o elemento de máquina, pudiendo ser entonces alto ó relativamente bajo, siendo los costos de mantenimiento bajos. Estos sistemas son automáticos y requieren de poca intervención del operador; el hecho de que se necesite que los equipos sean cerrados beneficia a que la contaminación del lubricante se reduzca. El aceite que se utiliza es recirculado, lo que hace que la lubricación por salpicado resulte atractiva desde el punto de vista económico, además de que la pérdida de aceite no es considerable.

Frecuentemente se utilizan venas para distribuir el aceite a aquellos elementos que no están siendo bañados directamente, además de que facilitan el camino de retorno del aceite para su posterior uso.

El flujo de lubricante se caracteriza por ser aproximadamente uniforme, adaptable a los cambios de velocidad y de régimen continuo. La regulación del flujo no es posible a menos de que se tengan cambios en el nivel de aceite o se añadan aletas a los elementos móviles de la máquina. Las aplicaciones de este tipo de lubricación incluye máquinas de combustión interna, impulsores por cadena y cajas de engranes.

b) ACEITADORES POR ANILLOS, CADENAS Y COLLARES.

Estos lubricadores son aplicables principalmente a flechas rotativas horizontales. El aceitador por anillo o cadena se coloca alrededor de la flecha y gira libremente sobre ella, mientras que el aceitador por collar se fija rígidamente a la misma. Cada uno de estos lubricadores proveen un sistema automático de lubricación, ya que el aceite es llevado a los rodamientos de la flecha cada vez que pasan sobre el recipiente de aceite colocado en la parte inferior de la zona donde se localiza la flecha.

Los aceitadores por anillo proveen una lubricación satisfactoria en flechas de 1 a 2 pulgadas de diámetro y con velocidades mayores de 3600 rpm. Para flechas en el rango de 4 pulgadas y velocidades menores, son igualmente eficientes. Los límites de velocidad más bajos a los cuales un anillo puede trabajar oscilan en el rango de las 50 rpm. No es recomendable el uso de anillos para flechas que estén sujetas a una vibración continua, ya que se puede interferir el contacto entre el anillo y la flecha. (Ver Fig. 7).

La cadena flexible al tener mayor cantidad de eslabonamientos tendrá mayor área de contacto, lo que le dará mayor capacidad de salpicado de

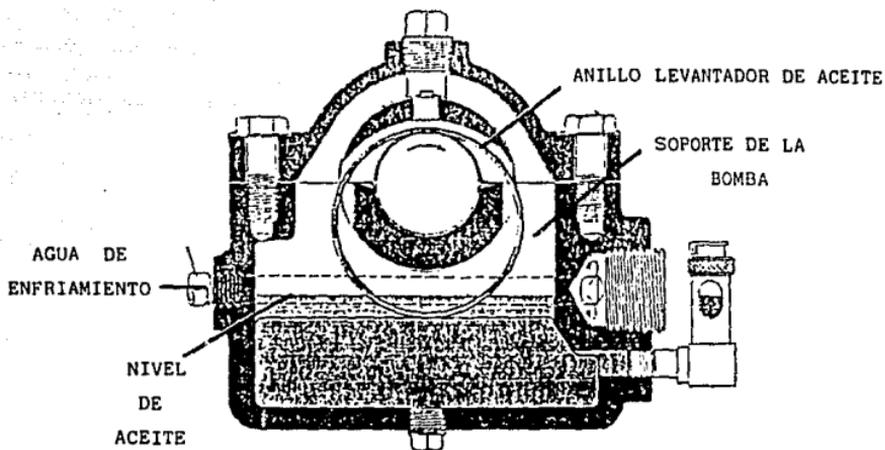


Fig. 7. Aceitador por Anillo.

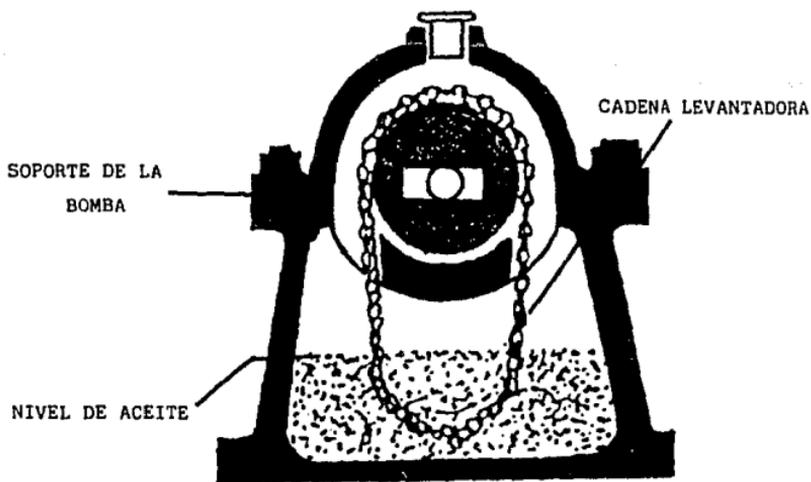


Fig. 8. Aceitador por Cadena.

aceite de la que se obtendría al utilizar un anillo a bajas velocidades, ya que al aumentar ésta el contacto entre la cadena y la flecha se pierde.

Por lo que se refiere a los aceitadores por collar, éstos están rígidamente sujetos a la flecha y giran a la misma velocidad de ésta. Para usarlos, el rodamiento debe ser dividido en dos partes. La parte inferior del collar penetra en el tanque de aceite, y cuando la flecha gira, el aceite es transportado a la parte superior del rodamiento. Se pueden colocar pantallas para remover el aceite de la parte superior del anillo y salpicar a las demás partes del rodamiento.

El costo inicial depende principalmente del costo que se tenga que realizar para tener una caja de baleros especial en donde el lubricante sea confinado en el fondo. El costo de mantenimiento de estos equipos es bajo.

Los aceitadores por anillos, cadenas y collares serán confiables siempre y cuando se mantenga el nivel de aceite dentro de la caja de rodamientos. Cuando el sello de aceite esté bien ajustado, las pérdidas de lubricante serán mínimas y la probabilidad de contaminación disminuirá. Por lo que se refiere al flujo de aceite, este se iniciará y detendrá automáticamente, siendo el consumo de aceite bajo por la recirculación del mismo. El flujo se caracterizará por ser uniforme, continuo y más o menos adaptable a los cambios de velocidad, siendo su regulación poco ajustada.

Las aplicaciones típicas incluyen motores eléctricos, ventiladores, sopladores, compresores y rodamientos en línea en las flechas horizontales. (Ver Fig. 8).

2.2.2. Lubricadores Manuales.

Los métodos de lubricación pueden requerir la acción humana de una u otra forma para un punto de aplicación en particular, siendo la manera de esta intervención un factor del método de lubricación seleccionado. Se entiende por lubricación manual a aquellos métodos en los cuales la cantidad del lubricante aplicado a la superficie del balero y/o el intervalo de tiempo de ésta lubricación sean una responsabilidad directa del operario. Se considerará también un lubricador de tipo manual a aquellos métodos en donde el nivel de aceite tenga que ser cuidado por el operario aunque el intervalo de lubricación sea controlado mecánicamente.

Aunque el costo inicial de la lubricación manual sea bajo, los costos de mantenimiento pueden llegar a resultar altos; además, la confiabilidad decrece al depender todo el sistema de la intervención humana así como también aumentará la probabilidad de contaminación del lubricante. Otras desventajas que se tienen con este tipo de lubricación son que no se tiene una buena regulación, no hay uniformidad ni adaptabilidad y además el flujo del lubricante no es continuo.

Las aplicaciones generales de la lubricación manual son aquellas en donde se tengan cargas de trabajo ligeras, velocidades de operación bajas y la maquinaria a lubricar no sea de uso frecuente. Entre los elementos de máquina que utilizan la lubricación manual se encuentran los engranes abiertos, las cadenas, cuerdas y otros elementos sencillos.

2.2.3. Lubricadores de Alimentación por Goteo.

Este tipo de lubricadores se basan en el flujo ocasionado por la gravedad al inyectar el lubricante hacia los rodamientos u otros tipos de elementos. Este método es utilizado cuando los puntos a lubricar son pocos y la ubicación de los mismos es accesible. Su costo depende de que tipo de lubricador sea utilizado, aunque en forma general este costo es bajo. El costo de mantenimiento depende del tipo de servicio y de la localización del equipo. Así, si se tienen demasiados puntos a lubricar y la localización es poco accesible, los costos de mantenimiento serán altos. El flujo de lubricante podrá ser iniciado o parado automáticamente dependiendo del lubricador a utilizar, los más comunes son el aceitador manual o el aceitador con pistón.

Estos lubricadores constan de un recipiente con un orificio pequeño en la parte inferior y un vástago el cuál tiene la función de reducir el diámetro del orificio. El recipiente se llena de aceite, el cual por gravedad empezará a gotear en los elementos mecánicos, a través del orificio, el flujo o regulación del goteo se puede controlar con el vástago.

Las aplicaciones típicas con esta lubricación incluyen los rodamientos de rodillos, engranes, cadenas, guías de máquinas, bombas, compresores y chumaceras.

2.2.4. Lubricación Incorporada (Autolubricación).

Este tipo de lubricación se refiere a los materiales o componentes que

no requieren ningún lubricador externo para proveer lubricante. Materiales como metales porosos saturados de aceite, materiales grafitados. PTFE, nylon y otros plásticos pueden, bajo ciertas condiciones, frotarse unos con otros sin necesidad de lubricarse. Estos materiales pueden ser utilizados para chumaceras, engranes, superficies deslizantes y elementos similares. Incluidos en ésta categoría se encuentran los rodamientos de bolas ó rodillos prelubricados por el mismo fabricante, los cuales no requieren de lubricación durante su vida de servicio.

Los componentes de máquinas que utilicen estos materiales se localizan en zonas inaccesibles y en equipos donde el espacio ó consideraciones de costo lo requieran, siempre y cuando su adaptación sea correcta. Este tipo de elementos no deben ser usados indiscriminadamente, y las condiciones de operación deben ser verificadas antes de que su uso sea aprobado.

2.2.5. Nebulización o Niebla de Aceite.

Otro tipo de lubricación con cantidades pequeñas, es la lubricación mediante niebla de aceite. Estos aparatos nebulizadores trabajan como un aspirador - pulverizador. El aire comprimido pasa por un tubo aspirador cuyo extremo inferior se sumerge en el baño de aceite originando en el tubo una determinada depresión. El aceite es arrastrado por el aire en forma de pequeñas gotas o neblina y es conducido a través de un tubo hasta el rodamiento que termina en una tobera delante del rodamiento.

La gran ventaja de la lubricación por niebla es que puede llevarse

lubricante de forma finamente distribuida hasta las superficies de giro de los rodamientos. Debido a la escasa cantidad de aceite, el rozamiento del lubricante en el rodamiento es muy pequeño, otra ventaja es que debido a la presión positiva originada en la caja de rodamientos se evita la entrada de contaminantes (polvo, sales, humedad, etc.). En estos sistemas de lubricación es necesario elegir la clase de aceite, el tamaño y disposición de las toberas en forma que todas las superficies del rodamiento queden suficientemente abastecidas de aceite.

Es importante mencionar que las aplicaciones de este tipo de sistemas de lubricación, no están limitadas, es decir, se puede aplicar casi en todo el equipo rotativo siempre y cuando se den las condiciones necesarias para su operación.

CAPITULO III

SISTEMA DE LUBRICACION A BASE DE NIEBLA DE ACEITE

La lubricación por niebla de aceite es un sistema de lubricación centralizado en el cual la energía de un fluido a presión, normalmente aire comprimido, es usado para atomizar el aceite a un sistema de distribución a baja presión. Este sistema de distribución está diseñado para aplicar la niebla a todos los puntos a lubricar que se requieran.

El principio de generación de estos sistemas resulta muy sencillo, ya que se basa en el fenómeno resultante de hacer pasar un fluido a través de un venturi. Cuando un fluido pasa por una obstrucción (disminución de área) su velocidad se verá aumentada en relación con la velocidad de entrada, y por otro lado su presión bajará en la zona de la boquilla. (Ver Fig. No. 9)

Si tenemos conectadas dos conexiones flexibles dispuestas a la entrada y a la salida de la boquilla y están conectadas a un recipiente que contenga otro fluido, la diferencia de presión que se origina en el estrangulamiento provocará que el fluido del recipiente sea succionado en la parte de menor presión (Bernoulli).

Tomando en cuenta los fenómenos anteriores (los cuales ocurren bajo el mismo principio) entenderemos entonces lo que sucede cuando el fluido que pasa por la boquilla sea aire y el fluido que tengamos en el recipiente sea aceite: el aceite al ser succionado (por la diferencia de presión) entrará

Venturi

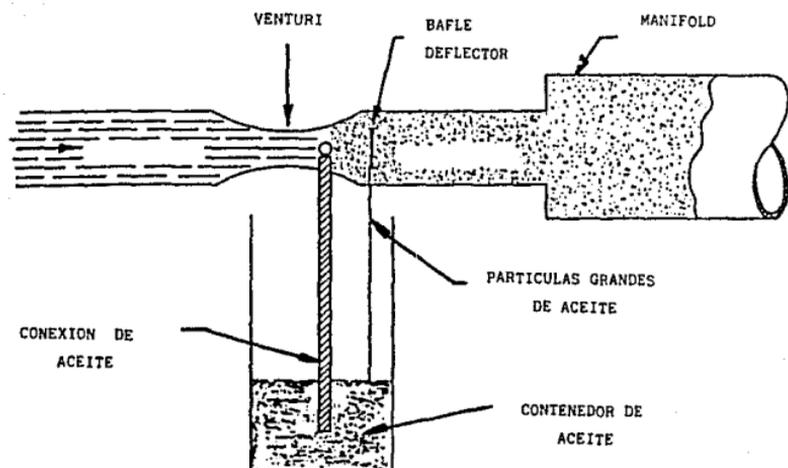


Fig. 9

en contacto directo con el aire que lleva una velocidad alta por lo tanto el aceite tenderá a atomizarse en partículas muy pequeñas.

Aunque el principio de generación de niebla es muy sencillo, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- A) Las propiedades que se tengan de la niebla estarán en relación directa con las del aire y aceite. Es por esta razón, de vital importancia controlar la temperatura y calidad del aire (humedad) y del aceite (viscosidad).
- B) El tamaño de las partículas generadas por la atomización, está en función directa de la velocidad a la que el aire entra en el venturi, siendo necesaria la generación de un flujo turbulento para provocar un "choque" del aceite con el aire multidimensional y el tamaño de las partículas sea del orden de micrones.

Como se comentó anteriormente, el venturi es una forma de generar niebla, sin embargo tiene el inconveniente de generar partículas muy heterogéneas debido a que el aire es multidimensional y su régimen es turbulento, por otro lado, el volumen de aire necesario para poder lograr la niebla es muy alto.

Otra forma de generar niebla de aceite es el principio del vórtex, que es muy similar al venturi pero con la diferencia que el principio del vórtex es más eficiente.

La generación consiste en lo siguiente: el aire previamente filtrado y

precalentado (para aumentar su presión y su volumen) pasa por medio de un conducto y es llevado a la parte superior del vórtex, que no es otra cosa más que un pequeño cono con álabes dispuestos de forma tal, que al entrar el aire, este girará, y al salir por la parte inferior del vórtex el aire habrá aumentado su velocidad a la del sonido, creando una zona de baja presión o presión negativa provocando que el aceite sea succionado y entre radialmente a la parte inferior del vórtex. (Ver Fig. 10).

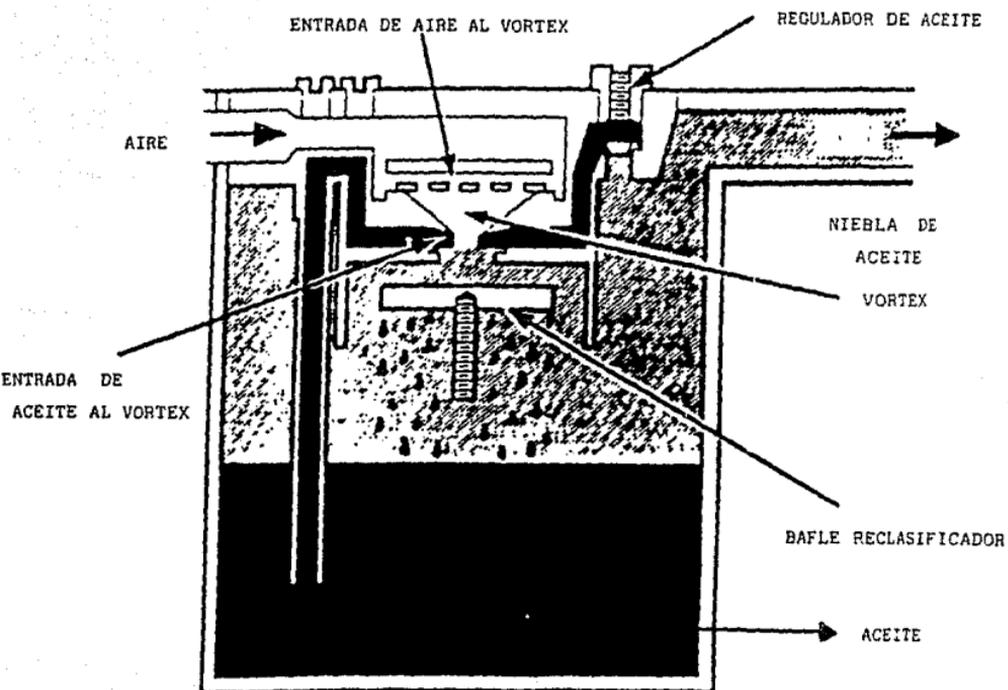
Una vez que choque el aceite con el aire turbulento se crearán pequeñas partículas de aceite (atomización) de diferentes tamaños. Las partículas mayores al orden de 3 micrones (niebla húmeda) chocarán con una placa deflectora en donde se condensarán y posteriormente caerán al recipiente de aceite. Las menores de 3 micrones, (niebla seca, óptima para la transportación) serán depositadas en la red de distribución.

En la generación de niebla existen factores que están íntimamente ligados a la calidad de esta, por tal motivo es importante identificarlos y controlarlos para lograr una niebla de alta calidad, estos factores son:

- La razón o proporción de aceite respecto al aire.
- El flujo o volumen de aire que entra al vórtex o cabezal.
- El flujo de aceite que sea absorbido por la presión negativa.
- La presión que se maneja a la salida del generador sin afectar el flujo del aceite.

VORTEX

Fig. 10



La forma de controlar estas variables será estudiada a continuación, y dependen básicamente de 3 controles esenciales:

A) Regulador de la presión de aire.

Controla el volumen de niebla que es proporcionado a los diversos puntos de lubricación. Este regulador deberá estar calibrado de forma tal, que el flujo de aire que libere el cabezal sea exactamente el necesario para provocar el sifón y poder succionar el aceite. Debido a que se tienen diferentes tipos de cabezal dependiendo del número de BI (Bearing Inch - Pulgada Balero) que se necesiten para lubricar, (los diferentes cabezales y la unidad BI serán analizados con detalle en el capítulo referente a los cálculos del sistema) la presión a la salida del regulador puede variar, pero se ha estandarizado que los rangos que maneje este regulador sean de 35 a 140 KPa, con lo que se obtendrán presiones en el sistema de distribución de 5 a 10 KPa, lo cual es importante de considerar cuando se tengan aplicaciones en donde la velocidad del equipo rotativo sea alta.

B) Válvula de flujo de aceite.

Esta válvula controla la densidad de la niebla. Incrementando el flujo de aceite al cabezal generador se incrementa la razón de la densidad de la niebla (aceite/aire). Este control se establece de dos maneras:

- Restringiendo el flujo de aceite.
- Reduciendo la succión de aceite en el tubo conector del recipiente.

Respecto al ajuste de esta válvula comentaremos lo siguiente:

- a) Los ajustes a la válvula de flujo no afectarán la presión de la niebla de aceite tanto en el cabezal como en el sistema de distribución.
- b) La proporción de aceite/aire ó densidad de la niebla, dependerá de las características del aceite, del flujo de aire entregado a la cabeza generadora y de la temperatura del aceite y aire alimentador. La densidad tenderá a disminuir con bajas y altas viscosidades del aceite.

C).-Válvula de paso de aire.

Esta válvula controla la presión de la niebla pero sin que exista un incremento en la salida de aceite. Su posición normal es la cerrada, pero girándola se incrementará la cantidad de aire que acompaña a la niebla y que es producida por el generador, lo cual incrementará la presión de la niebla. Otra consecuencia de la apertura de esta válvula es que la velocidad en el sistema de distribución aumentará, por lo que se tendrá que tener cuidado en el diseño de la tubería y sus derivaciones para evitar problemas, y de esta forma obtener una lubricación óptima en los puntos de interés.

Los controles antes mencionados se encuentran en la parte superior del cabezal.

3.1. TIPOS DE NIEBLA Y SUS PROPIEDADES.

Al referimos a tipos de niebla, no queremos decir que estos varíen

según sus aplicaciones, sino que más bien se refiere a las propiedades que tengan principalmente en su densidad y tamaño de partícula. Existen dos tipos de niebla: la niebla seca y la niebla húmeda.

Recordando el proceso de generación de niebla, en el cual se había mencionado que el tamaño de las partículas que se obtenía era multidimensional, es decir que varían de 1 a 6 micrones, siendo las partículas de mayor tamaño las que chocarán con la tapa deflectora y caerán al recipiente condensándose otra vez, pasando únicamente las menores de 3 micrones. Estudios realizados en la Universidad de Texas A&M sobre este tema han comprobado que las partículas menores a 3 micrones por su tamaño no son aptas para la lubricación, o dicho de otra forma, la lubricación con este tipo de niebla no es óptima. A este tipo de niebla se le conoce como niebla seca, y aunque no sirve para lubricar, si es muy útil para la transportación a los diversos puntos de aplicación, ya que por el tamaño tan pequeño de sus partículas, éstas no formarán condensados en la red de distribución ni durante su transportación.

Después de que la niebla ha sido transportada al punto ó puntos a lubricar, no la podemos aplicar en forma directa por lo mencionado con anterioridad, por tal motivo es necesario reclasificarla o aumentar el tamaño de sus partículas con el único objetivo de que la niebla esté en condiciones de lubricar. La forma de lograr el cambio de tamaño en las partículas de aceite, es por medio de reclasificadores, que serán detallados a continuación. Debido a los cambios de diámetro que presentan estos desde la entrada hasta la salida provocan que las partículas de niebla se coluden y

posteriormente se condensan, aumentando su tamaño dando paso al otro tipo de niebla llamada niebla húmeda, que es ciento por ciento óptima para la lubricación. Una vez obtenida la niebla húmeda, podemos aplicarla directamente a los equipos para lubricar sin ningún problema. Resumiendo lo anterior, tenemos que la niebla generada se le llama niebla seca, y luego de ser transportada y reclasificada se le llama niebla húmeda. La diferencia esencial entre ambas será su tamaño de partícula siendo 3 micrones el tamaño ó frontera límite.

Respecto a las propiedades de la niebla podemos mencionar las siguientes:

- a) La densidad de niebla standard y óptima es la proporción de una parte de aceite por doscientas mil de aire.
- b) Por el alto contenido de aire en la mezcla ésta no es inflamable.
- c) No es una mezcla tóxica.

Una vez comprendido el fenómeno de la generación de niebla, el siguiente paso será describir los elementos principales de un sistema de lubricación por niebla, y en forma paralela explicar su funcionamiento así como su diseño, para finalizar con un análisis de las ventajas que ofrece este tipo de lubricación.

3.2. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE LUBRICACION POR NIEBLA, Y SU DISEÑO.

Un sistema centralizado de lubricación por niebla, está diseñado para producir, transportar y entregar aceite en forma de niebla desde el punto de generación hasta los puntos a lubricar, ya sea equipo rotativo o equipo que tenga problemas de desgaste en general.

Para poder describir los elementos principales de un sistema de lubricación por niebla es necesario que nos apoyemos en la Fig. No. 11.

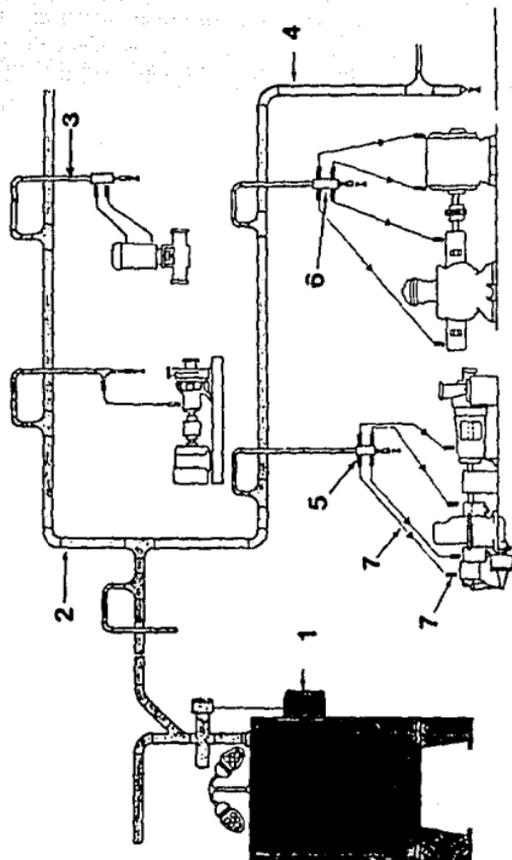
Básicamente un sistema de lubricación por niebla está compuesto por cuatro puntos fundamentales:

- Consola Generadora,
- Sistema de Distribución,
- Sistema de Reclasificación,
- Inyección de Niebla.

3.2.1. Consola Generadora.

La consola generadora (1), es el principio de la niebla de aceite, ya que esta consola alberga al generador de niebla que puede operar por el principio de venturi o por el principio del vórtex (analizado con anterioridad), y todos los controles necesarios para la operación como son: válvulas, filtros, reguladores, válvulas solenoides, sensores, transductores y el

Fig. 11. Elementos principales de un sistema de lubricación por niebla.



controlador central, que en forma automática y computarizada mantiene en forma estable la emisión de niebla así como su calidad.

Es importante mencionar que la consola generadora viene acompañada de una unidad de respaldo, que contiene los mecanismos indispensables para generar niebla cuando por alguna razón, la consola principal no puede funcionar, ésta no es computarizada.

3.2.2. Sistema de Distribución.

Es una red de tubería y conexiones a través de la cual la niebla es transportada desde la consola, en donde es generada hasta el punto o los puntos de aplicación.

Básicamente el sistema de distribución se divide en dos partes: el eje principal (2) y disparos o caídas (3) que serán tantos como equipos a lubricar existan. El eje principal será de tubería de acero galvanizado, de 2 pulgadas de diámetro, cédula 40, grado A-53 B, su función principal es llevar la niebla a todos los disparos. Los disparos o caídas serán de tubería de acero galvanizado de 3/4 de pulgadas de diámetro, cédula 40, grado A-53 B, y su función será la de hacer llegar la niebla que previamente le suministró la tubería de 2 pulgadas, al sistema de reclasificación.

Los diámetros anteriores se han definido en estas medidas debido a que precisamente 2" y 3/4" proporcionan la velocidad necesaria en la niebla para una correcta lubricación.

En cuanto al sistema de distribución se refiere es muy importante

mencionar lo siguiente: cuando la niebla de aceite es transportada a través de la tubería, parte de las partículas de la niebla se van coluyendo aumentando de tamaño, por lo que se van condensando dentro de la misma. Si la razón aceite/aire es alta, la cantidad de aceite que se condensará será grande, lo cual puede obstruir el flujo de niebla en la tubería provocando que la presión se incremente en toda la red de distribución.

En base a lo anterior es indispensable que el eje principal tenga una pendiente hacia la consola y si existieran ramales secundarios, estos deberán de tener orientada la pendiente hacia el eje principal con el objetivo de que todo el aceite condensado se recolecte en el generador de niebla por gravedad. En el caso de que por la ruta del eje éste no pueda tener pendiente hacia la consola, será necesaria la instalación de una pierna de drenado (4) al final del cabezal principal, en donde se acumulará el aceite condensado, la cual deberá ser drenada frecuentemente para evitar que se aumente el aceite en ese segmento de tubería.

La pendiente de la tubería tendrá porcentajes estandarizados que dependerán esencialmente de la viscosidad del aceite y de la temperatura ambiente de donde se instale el sistema. Las tablas 1 y 2 que se muestran a continuación nos pueden dar la relación de estas pendientes. Sin embargo, resulta a veces conveniente tener un standard de cuál debe ser la pendiente idónea. Si no se tienen datos para poder calcular la pendiente y se utiliza un aceite con una viscosidad regular (20 SAE) la razón de pendiente hacia el cabezal puede ser de 1 pulgada por cada 20 pies. Si existen obstrucciones

Tabla No. 1

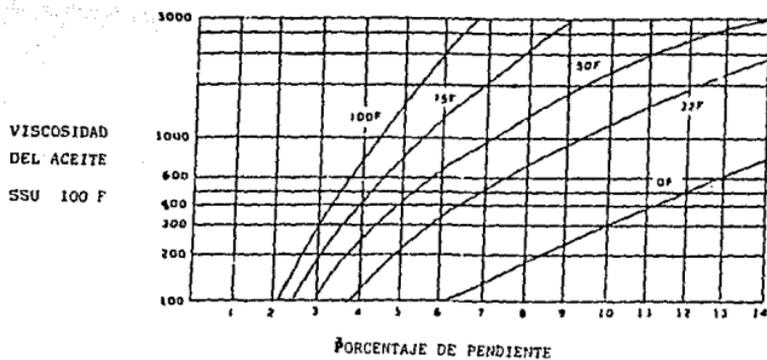


Tabla No. 2

| VISCOSIDAD DEL ACEITE (SSU @ 100°F) | TEMPERATURA DEL AMBIENTE | | | | |
|--|--------------------------|------|------|------|-------|
| | 0°F | 32°F | 50°F | 75°F | 100°F |
| 100 | 5.3 | 3.7 | 3.0 | 2.4 | 2.1 |
| 180 | 8.8 | 5.4 | 4.1 | 3.0 | 2.5 |
| 300 | 10.5 | 6.1 | 4.6 | 3.7 | 2.9 |
| 500 | 12.2 | 7.2 | 5.5 | 4.4 | 3.5 |
| 800 | 18.0 | 8.5 | 6.5 | 5.1 | 4.0 |
| 1,500 | — | 11.0 | 8.8 | 6.1 | 4.9 |
| 2,500 | — | 15.0 | 10.4 | 7.1 | 5.4 |
| 5,000 | — | — | 14.4 | 9.0 | 6.7 |

PORCENTAJE DE PENDIENTE

de tubería de otros servicios o el montaje del equipo no permite dicha pendiente, se podrán tomar los mismos valores para dirigir la pendiente hacia una pierna de drenado.

3.2.3. Sistema de Reclasificación.

En términos generales un reclasificador (5) es un accesorio el cual a través de una disminución de sección transversal crea una turbulencia, lo que provoca que las partículas de aceite que estén dentro del aire choquen entre si y aumenten de tamaño produciendo niebla húmeda o gotas de aceite las cuáles serán inyectadas en las superficies o equipos a lubricar.

La razón de flujo a través de estos reclasificadores será determinada por las dimensiones de los pequeños orificios de diámetro pequeño que es por donde tendrá lugar la turbulencia, de la longitud del reclasificador y por la presión de generación de la niebla.

Para propósitos prácticos los reclasificadores pueden ser considerados como medidores del flujo de niebla, sin que cambien las características de esta. Deben ser utilizados para lubricar rodamientos cuya velocidad de operación sea mayor de un metro por segundo en el diámetro principal del elemento rotativo. En este rango de velocidades, la turbulencia dentro y alrededor de los rodamientos causará suficiente bañado de aceite para lubricar adecuadamente la superficie. Sin embargo, a velocidades menores, la reclasificación resultará incompleta y provocará que una gran proporción del aceite se escape junto con el aire que lo acompaña. Por lo tanto, para minimizar estas fugas de niebla, las velocidades a las que se

utilizan los reclasificadores tienen un límite mínimo de 5 metros por segundo.

Para los diversos tipos de lubricación se han estandarizado tres tipos diferentes de reclasificadores: (Ver Fig. No. 12).

- a) Reclasificadores de Niebla,
- b) Reclasificadores de condensado o goteo,
- c) Reclasificadores Tipo Spray.

a) Reclasificadores de Niebla.

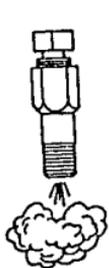
Estos son utilizados para diversos tipos de baleros (de bolas, de rodillos, etc.) cuya carga sea moderada y tengan una velocidad final mayor de 5 m/seg. Estos reclasificadores son los de mayor uso en la industria.

b) Reclasificadores de Condensado o Goteo.

Este tipo de reclasificadores están provistos generalmente de una tapa de obstrucción y un cambio más brusco de sección para mejorar la reclasificación. Es común que este tipo de reclasificadores tengan la longitud del orificio muy larga, por lo que la velocidad de salida del aceite al final del reclasificador será mínima y de esta forma se podrá lubricar el elemento rotativo eficientemente.

Los reclasificadores de condensado o goteo se aplican normalmente en equipo deslizantes, tales como algunas levas, superficies en contacto en

Fig. 12



RECLASIFICADOR
DE
NIEBLA

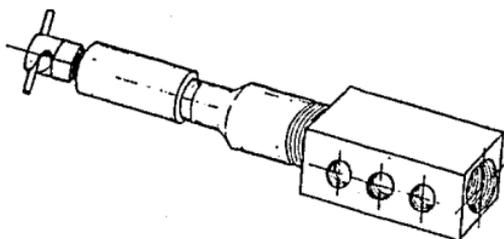


RECLASIFICADOR
DE
CONDENSADO



RECLASIFICADOR
DE
SPRAY

Fig. 13



MANIFOLD O DISTRIBUIDOR DE NIEBLA

algunas máquinas, chumaceras y algunas superficies autolubricadas.

c) Reclasificadores Tipo Spray.

Estos reclasificadores inyectan el aceite a los elementos rotativos como pequeñas partículas de aceite. La forma de lograr el spray, es haciendo pasar la niebla en régimen turbulento a través de un largo orificio con una longitud al menos de 20 veces el diámetro. Si se requiere que el tamaño de partículas aumente, se puede introducir una pequeña turbina dentro del reclasificador, lo que hará que aumente la turbulencia. Los reclasificadores de spray se aplican principalmente en equipos no deslizantes y donde su ciclo de trabajo es continuo como por ejemplo las cadenas, los engranes y algunos sistemas de transmisión de potencia.

Los reclasificadores independientemente de su tipo están conectados al sistema por medio de distribuidores (6 en Fig. 11) o manifolds cuya función como su nombre lo indica es distribuir la niebla a los reclasificadores en forma proporcional en la parte final del disparo. Los distribuidores pueden ser de 4 puertos (para conectar 4 reclasificadores) o de 6 puertos (para conectar 6 reclasificadores) y la elección dependerá únicamente del número de puntos a lubricar en el equipo, ya que cada punto a lubricar debe contener un reclasificador. (Ver Fig. No. 13).

Es importante mencionar que la función principal de los reclasificadores es dosificar y optimizar el aceite en cada punto a lubricar, para que cada elemento rotativo tenga la cantidad exacta de aceite por medio de un flujo continuo, para lograr lo anterior es importante seleccionar

y calcular cada reclasificador, este punto se detallará en el capítulo que analiza los procedimientos de cálculo del sistema.

3.2.4. Inyección de Niebla a los Equipos.

Por lo que se refiere a la aplicación de la niebla, podemos decir que esta es la parte más sencilla del sistema, ya que únicamente consta de tramos de tubing de acero inoxidable de 1/4 de diámetro tipo 304 ó 316 y con un espesor de pared de 0.035 pulgadas, (la medida de los tramos dependerá de la distancia que se tenga del distribuidor al punto a lubricar) que se conectan a la parte final del reclasificador por un extremo, y por el otro extremo al punto a lubricar en el equipo por medio de un conector de acero inoxidable con el objeto de que la niebla reclasificada y húmeda fluya por el tubing para llegar a los equipos (7 en Fig. 11).

3.3. APLICACIONES Y TIPOS DE NIEBLA.

Anteriormente se mencionó que esta tecnología tiene diferentes aplicaciones en la industria en varios equipos, para poder continuar con este análisis dividiremos las aplicaciones de la siguiente manera:

- a) Aplicaciones en donde el equipo a lubricar son baleros y/o equipo que tenga secciones cerradas para lubricar (por ejemplo cajas de baleros, cajas de engranes, etc.).

- b) Aplicaciones donde sea necesario aplicar reclasificadores tipo spray o por goteo. Los equipos en cuestión, no tienen secciones cerradas: cadenas, superficies deslizantes, levas, etc.

El segundo tipo de aplicación no representa ningún problema, puesto que una vez, seleccionado el reclasificador o los reclasificadores necesarios, lo único que resta es instalarlos y conectarlos en forma correcta para que la lubricación sea óptima.

Para analizar el primer tipo de aplicación, y en general para el desarrollo restante de esta tesis, nos basaremos en el análisis de lubricación por niebla en las bombas, esto debido a que es la aplicación más común en la industria y por otro lado es la más representativa, de tal forma que cuando se desee aplicar la niebla en otro equipo diferente, las modificaciones que se tendrán que realizar serán mínimas.

En una bomba lubricada con aceite, la caja de baleros se llena hasta el punto medio de la bola del rodamiento más bajo. Este nivel de aceite se controla mediante una aceitera de nivel que esta a un costado del equipo. El anillo de eslinga ó el disco de lubricación transporta el lubricante del colector de aceite a los rodamientos y flecha cuando el equipo entra en operación.

Al respecto se pueden hacer los siguientes comentarios:

A) Debido a que el anillo de eslinga solo puede lubricar los rodamientos cuando el equipo entra en operación, la lubricación no es continua, es decir, cuando el equipo está parado, el aceite acumulado en la flecha y los rodamientos se precipita al fondo de la caja de rodamientos quedando estos sin lubricante. En el momento del arranque encontramos fricción de metal con metal, hasta que el anillo de eslinga después de algunas revoluciones haya podido lubricar los rodamientos. Lo anterior

provoca que la vida útil de los equipos se reduzca.

B) Al irse lubricando el equipo, se forma una capa de lubricante alrededor de las partes en movimiento, lo que provoca que la fricción tenga un valor aproximadamente constante.

C) Debido a lo descrito en los puntos A y B, la temperatura de los rodamientos aumentará hasta su valor máximo, el cual se alcanzará al tener la capacidad de trabajo estándar en el equipo.

D) La vida útil del aceite así como sus propiedades disminuirán con una rapidez que será factor del nivel de operación que se tenga en el equipo. Esto es debido a que el aceite está en una sección cerrada y no es recirculado, entonces, al lubricarse los rodamientos por las revoluciones del equipo, se originan impurezas que resultarán del desgaste de las partes móviles y de la propia carbonización del aceite, lo que provoca que los aditivos del aceite se degraden y este pierda calidad. Por otro lado la contaminación atmosférica ayuda a que el aceite se degrade, ya que al ser mayor la presión atmosférica que la presión de la caja de rodamientos los contaminantes (sales y humedad principalmente) entren a ésta degradando también el aceite. Es por estas razones que se tiene que cambiar el aceite en períodos de tiempo establecidos, los cuales dependerán del tipo de equipo así como de la intensidad de su trabajo.

E) Se tienen algunas veces, fugas de aceite no deseadas y no previstas, por lo que el consumo de aceite aumenta y las fallas por una pobre lubricación pueden sucederse continuamente. Para tal efecto se

requiere que se revise constantemente el nivel de aceite para que este sea el óptimo y así evitar fallas.

3.3.1. Lubricación por Inmersión en Seco o Niebla Pura.

Este tipo de lubricación por niebla es la más común en la industria, ya que se puede aplicar en casi todos los equipos. En este tipo de lubricación es necesario drenar por completo el aceite que se tenga en la caja de baleros, de ahí el nombre de inmersión en seco. Una vez drenado el aceite, se tiene que retirar el anillo de eslinga, así como también la aceitera de nivel constante, poniéndose en su lugar una botella de drenado, la cual, tiene las funciones de recolectar el aceite que se va condensando en la caja de baleros, y el cual nos puede dar un índice de cual es el estado de desgaste que tienen nuestros elementos rotativos y también el de ventear la niebla sobrante del proceso de lubricación. Por último inyectamos la niebla a través del barreno o puerto de llenado de la caja. La niebla que se inyecta es niebla reclasificada y lubricará en forma continua al equipo rotativo cubriendo por completo toda la caja de baleros. Algunas características de esta lubricación son:

A) El flujo que se tiene de niebla es constante lo que nos proporcionará las siguientes ventajas:

- La capa de aceite que se forme alrededor del equipo rotativo será constante y de grosor homogéneo.

- No es necesario que el equipo esté en funcionamiento para que se esté lubricando, debido a que la niebla no se deja de inyectar. Este punto es muy importante en la operación de los equipos, si estos están fuera de operación de cualquier forma recibirán niebla, ya que esta es un flujo continuo, lo que garantiza una lubricación eficiente en todo momento.

Una aplicación que se deriva del flujo continuo de niebla es la PRESERVACION, esta se aplica cuando se tiene que parar o almacenar equipos por largos periodos de tiempo, la niebla entonces se inyectará ya no con el objetivo de lubricar sino por sus características y por el diseño del sistema el de preservar. La preservación por niebla de aceite ha tenido mucha difusión en la industria, sobre todo en aquellas que se encuentran ubicadas en zona donde el ambiente es altamente corrosivo.

- Debido a la recirculación de la niebla y a su flujo constante, la niebla ayuda a disipar la temperatura del calor generado en los equipos, ya que toda la niebla que entra a las cajas de rodamientos tendrá una temperatura de aproximadamente 21C mientras los equipos operan a temperaturas cuatro o cinco veces más grandes.

B) A consecuencia de la inyección constante de niebla, la presión que se genera en las cajas de rodamientos será ligeramente mayor a la atmosférica, por lo tanto los contaminantes que se encuentran en la

atmósfera no tienen acceso a la caja, aumentando con esto la vida útil de los rodamientos considerablemente.

C) Al pasar la niebla por el reclasificador, este únicamente va a inyectar la cantidad exacta de niebla, con lo cual se evita que el aceite se desperdicie eliminándose por completo las probables fugas de aceite evitando así daños a los equipos por una lubricación deficiente.

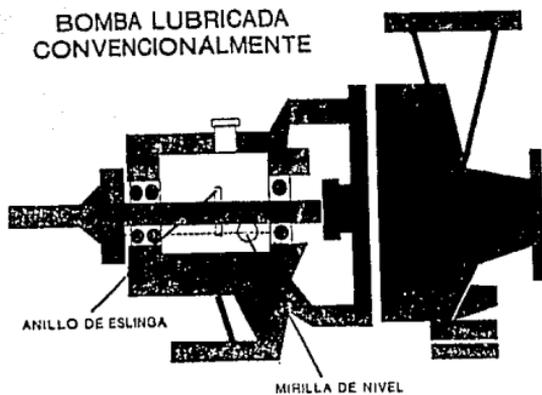
D) Una gran ventaja de estos sistemas de lubricación, es la que se deriva de que al tener un flujo continuo de niebla, la presión así como la capa lubricante que se forma en los elementos rotativos se mantendrá por un periodo de hasta 8 hrs., si llegara a interrumpirse la alimentación de aire (recordemos que el aire es el elemento principal para la generación de niebla). Esto da una gran confiabilidad, puesto que no es necesario reemplazar el equipo tal como se hace cuando se tiene otro tipo de lubricación.

En la figura No. 14 se muestra de forma esquemática una bomba lubricada por inmersión en seco o niebla pura.

3.3.2. Lubricación por Inmersión en Húmedo o Niebla Purga.

Existen algunas aplicaciones, que debido a las características del equipo (RPM, tipo de trabajo, etc) así como las del aceite que lo lubrica (viscosidad) no es recomendable drenar el aceite, por lo tanto se tiene que mantener su nivel. Para este tipo de equipos también se puede utilizar la

**BOMBA LUBRICADA
CONVENCIONALMENTE**



**BOMBA CENTRIFUGA
LUBRICACION
POR NIEBLA
PURA**

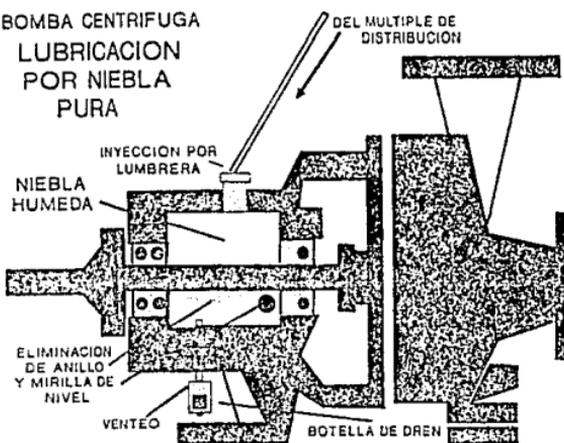


Fig. 14

niebla de aceite, siempre y cuando se conserve el nivel de aceite que se tenga en el equipo a lubricar. A este tipo de lubricación se le conoce como inmersión en húmedo o niebla purga.

La lubricación por niebla purga se utiliza entonces juntamente con la lubricación convencional. En esta, la niebla se introduce por el puerto de llenado a la caja de baleros, cubriendo el espacio sobre el lubricante líquido eliminándose el aire, la niebla restante se fuga por medio de un desfogue o arreglo. Como consecuencia de la inyección constante de niebla, el nivel de aceite que se tiene en la caja de baleros aumentará en forma constante a razón de un litro cada uno o dos meses. Es por esto necesario vigilar que el nivel de aceite no rebase su nivel máximo para evitar problemas de sobrelubricación, en caso contrario se deberá drenar el aceite.

La ventaja de utilizar este tipo de lubricación es que al igual que la niebla pura, se crea una presión positiva dentro de la caja de rodamientos que contiene el aceite, evitando la entrada de contaminantes que degradan el aceite.

Otra ventaja de utilizar la niebla purga, es que el equipo siempre tendrá una capa de lubricante en la parte que no está sumergida en aceite independientemente de que esté o no en operación. Esto evita los desgastes que se tienen cuando, al empezar a operar el equipo sin niebla, hay partes que tienen contacto metal con metal por la precipitación del aceite, por otro lado la niebla purga nos ayuda también a eliminar la posibilidad de fallas como desalineamientos o desbalanceos provocada por

una lubricación deficiente. En la figura No. 15 se muestra un esquema típico de esta aplicación.

3.4. CALCULOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE LUBRICACION POR NIEBLA.

Una vez analizado de forma detallada los principales criterios de la lubricación por niebla, solo restaría conocer la metodología de cálculos de esta tecnología.

Uno de los pasos a seguir es el referente al conocimiento de la calibración del sistema así como las unidades que se deben manejar, cuáles son, cómo se deben de seleccionar los reclasificadores y por último los cálculos relacionados de consumo de aire y aceite.

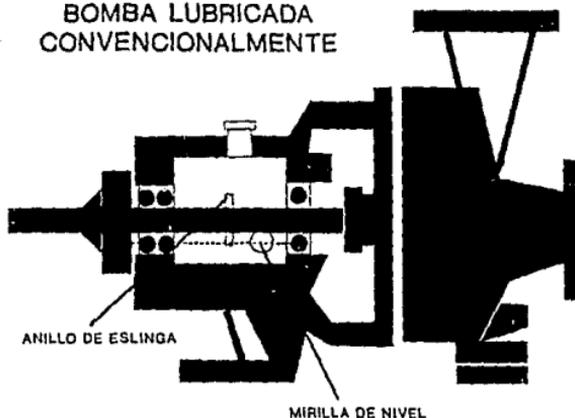
3.4.1. Unidades del Sistema.

La elección de las unidades que mejor relacionan los requerimientos de cada punto a lubricar con los estándares establecidos a lo largo de los años, se han basado principalmente en los siguientes aspectos:

- a) Tipo de balero, es decir diámetro, diseño y características esenciales (factores geométricos).
- b) Carga a la que está sometida el rodamiento (pesada, mediana o ligera).

Las características anteriores fueron estudiadas exclusivamente para los baleros. Sin embargo, con el paso del tiempo, el desarrollo tecnológico y

**BOMBA LUBRICADA
CONVENCIONALMENTE**



**BOMBA CENTRIFUGA
LUBRICACION
POR NIEBLA
PURGA**

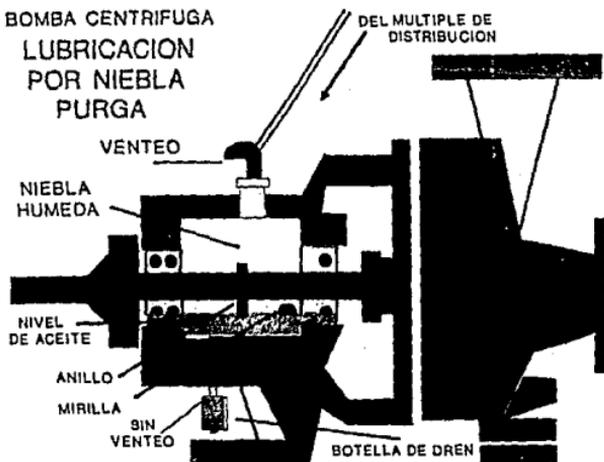


Fig. 15

la diversificación de las aplicaciones de los sistemas por niebla, han modificado estas unidades por pequeños factores numéricos (constantes), para de esta forma facilitar los cálculos así como la calibración de los equipos.

A continuación definiremos las principales unidades de estos sistemas.

A) Pulgada Balero BI (Bearing Inch).

Se define el BI como el producto que resulta de multiplicar el diámetro de la flecha por el número de hileras de rodamientos que esta tenga. (Ver Fig. No. 16). Por lo anterior podemos definir que un BI es la cantidad necesaria de niebla lubricante que necesita un balero sencillo montado sobre una flecha con un diámetro de una pulgada. Dado que un BI también equivale a 0.018 pulgadas cúbicas de aceite por hora, también podríamos decir que un BI, es un flujo de aceite, y este dependerá de las características de los rodamientos a lubricar.

Es importante tener muy claro el concepto anterior, ya que todo el cálculo y calibración del sistema se basan principalmente en los BI's de generación.

B) SCFM (Standard Cubic Feet per Minute).

La calibración del sistema también está basada en el número de pies cúbicos de aire que pasan a través del cabezal generador o vórtex por minuto. Para propósitos de diseño se establece que un SCFM requiere de

BEARING INCH - BI
(PULGADA BALERO)

BI = DIAMETRO DE
LA FLECHA
X
NUMERO DE HILERAS
DE RODAMIENTOS

CALCULO DEL LUBRICANTE
REQUERIDO EN CADA RODAMIENTO

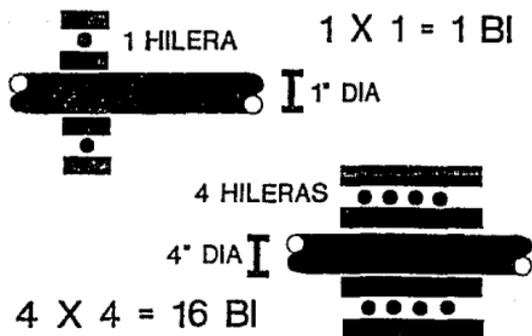


Fig. 16

0.65 pulgadas cúbicas de aceite por hora, lo cual es un estándar en la mayoría de los fabricantes, sin embargo, es en este punto en donde también los fabricantes establecen sus diferencias, ya que a menores pulgadas cúbicas de aceite por cada SCFM se requerirá de mayor flujo de aire.

Como se mencionó anteriormente, la unidad BI es el resultado de multiplicar el diámetro de la flecha, por el número de rodamientos que esta tenga. Este procedimiento para calcular los requerimientos de lubricación es el más aceptado, sin embargo, es importante mencionar que para equipos muy especiales el cálculo de BI se verá afectado también por su velocidad, factor de carga en los rodamientos y sus características de diseño (material, disposición geométrica).

3.4.2. Selección de los Reclasificadores.

Conocidos los requerimientos a lubricar de cada equipo del área de interés, (levantamiento) lo que resta por hacer es seleccionar los reclasificadores adecuados que nos proporcionarán los BI y los SCFM necesarios. Los reclasificadores se clasifican según los estándares de diseño de cada fabricante pero la metodología siempre será la misma.

En la siguiente tabla se muestra la relación entre los BI y los SCFM. (Tabla No. 3).

En esta tabla los reclasificadores se han estandarizado y se seleccionaron según la capacidad requerida por cada punto a lubricar. Como ejemplo y para desarrollar este tema, tomaremos los estándares de

Tabla No. 3. Relación entre BI y SCFM

| SCFM | BI | NUMERO DE PARTE | | |
|------|----|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | RECLASIFICADOR DE NIEBLA | RECLASIFICADOR DE CONDESADO | RECLASIFICADOR DE SPRAY |
| .03 | 1 | -500 | -520 | -528 |
| .09 | 3 | -501 | -521 | -529 |
| .18 | 6 | -502 | -522 | -530 |
| .30 | 10 | -503 | -523 | -531 |
| .45 | 15 | -504 | -524 | -532 |
| .60 | 20 | -505 | -525 | -533 |

selección usados normalmente en E.E.U.U.

Así una vez conocidos los requerimientos de los BI y de los SCFM de cada punto a lubricar, seleccionaremos los reclasificadores necesarios según la tabla anterior. Aunque resulte obvio, si tenemos que los BI requeridos se encuentran entre algunos de los valores estándares dados, el reclasificador que se deberá seleccionar será el inmediato superior.

Los parámetros de diseño anteriores son válidos cuando la aplicación de la niebla sea por medio de inmersión en seco o niebla pura. Cuando la aplicación sea por inmersión en húmedo o niebla purga se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Los cálculos para las aplicaciones en niebla purga no serán tomados en cuenta.
- b) En las cajas de baleros pequeñas como las de turbinas, bombas y motores, se usará un reclasificador tipo 501, debido a que es la cantidad de niebla suficiente para presurizar las cajas de baleros.
- c) Para las cajas de baleros grandes y las cajas de engranes se utilizará un reclasificador tipo 502. Una vez finalizado el levantamiento, podemos saber los requerimientos de los BI totales, que serán la sumatoria de los BI obtenidos de cada equipo.

3.4.3. Selección del Cabezal Generador (Vórtex).

Con los datos anteriores, se podrá ya entonces seleccionar la cabeza

generadora. Cada una de éstas tiene una curva característica en donde se muestra la salida de aire en función de la presión de entrada del mismo. Entonces, el cabezal generador debe ser seleccionado para que el flujo de aire requerido esté en la mitad de la curva, esto con el objetivo de proporcionar al sistema un rango de ajuste para modificaciones futuras. Los cabezales estándares que se manejan se muestran a continuación en la Tabla No. 4.

| Modelo de Cabezal | | |
|-------------------|------|------|
| | BI | SCFM |
| 77-000-001 | 40 | 1.2 |
| 77-000-006 | 100 | 3.0 |
| 77-000-036 | 400 | 12.0 |
| 77-500-058 | 600 | 18.0 |
| 77-000-010 | 1000 | 30.0 |

TABLA No. 4

Conocidos los BI totales y seleccionados todos los reclasificadores para el sistema, se deberá escoger un cabezal que proporcione un 25% más del total de BI. Esto se hace con el fin de evitar las pérdidas que se producen en la niebla tanto al generarla como al transportarla.

Si tenemos que seleccionar un cabezal que estuviera entre los límites

anteriores, se tendría que elegir el inmediato superior o inferior. Esto dependerá de las características del equipo, características de la red de distribución y del criterio del diseñador, ya que si se elige un cabezal demasiado sobrado, la velocidad del aire que se tendrá dentro del vórtex no será la idónea para generar la niebla. Por otro lado, si el cabezal elegido no cubre las necesidades de lubricación no tendremos una lubricación óptima, es por lo tanto indispensable valorar hasta que rango del 25% sobrante se puede proporcionar al elegir un cabezal pequeño.

3.4.4. Cálculo del aire requerido.

Por definición sabemos que un SCFM es la cantidad de pies cúbicos de aire que pasan a través del cabezal generador por minutos. Entonces el flujo necesario del aire será ya conocido al conocer los requerimientos totales del equipo a lubricar (SCFM totales).

3.4.5. Cálculo del aceite requerido.

Los cálculos para obtener el consumo de aceite se pueden realizar de dos formas:

- a) Por medio de los BI totales. Cada BI requiere de 0.018 pulgadas cúbicas de aceite por hora.
- b) Por medio de los SCFM totales. Cada SCFM requiere de 0.65 pulgadas cúbicas de aceite por hora.

Los cálculos anteriores constituyen entonces la base fundamental de

la metodología de diseño de los sistemas de lubricación por niebla, en resumen una guía de como hacer los cálculos principales de un sistema de lubricación por niebla puede ser la siguiente:

A) Conocer los datos necesarios de cada equipo a lubricar para poder obtener los BI y los SCFM, según lo explicado anteriormente. Con este cálculo conocemos los tipos de reclasificadores para los equipos.

B) Hacer la sumatoria de los BI así como de los SCFM para poder seleccionar el cabezal generador. Se debe recordar que es necesario que este cabezal proporcione un 25% más de flujo de aire que el calculado.

C) Con los BI y los SCFM totales, podemos obtener el flujo de aire necesario así como la cantidad de aceite requerido.

Para redondear este tema solo falta comentar que la elección de la consola que contiene el cabezal de generación dependerá de las condiciones del área en donde se instalará, los requerimientos del equipo a lubricar y sobre todo de las necesidades del cliente.

CAPITULO IV

CASO PRACTICO DE UN SISTEMA DE LUBRICACION POR NIEBLA DE ACEITE

Después de haber revisado todos los conceptos relacionados con la lubricación a base de niebla, tanto teóricos como de diseño, será en este capítulo en donde los pondremos en práctica.

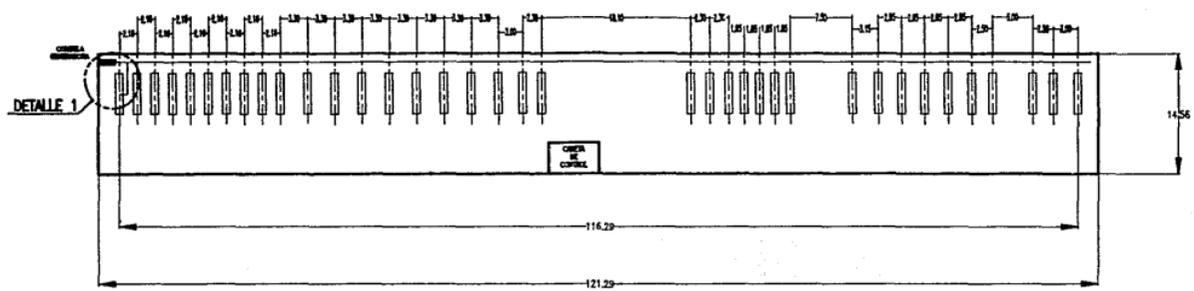
En el presente capítulo se desarrollará un ejemplo completo y detallado de la "Implementación de un Sistema de Lubricación por Niebla", en la Casa Central de Bombas # 1 de la "Refinería Miguel Hidalgo" en Tula, Hidalgo, que actualmente se encuentra en operación y que puede ser retomado como ejemplo para proyectos o instalaciones similares.

Empezaremos por detectar algunos requerimientos del usuario, características del equipo a lubricar, analizaremos también los cálculos necesarios para la elección del cabezal y reclasificadores, y por último hablaremos de algunos detalles del diseño de la instalación.

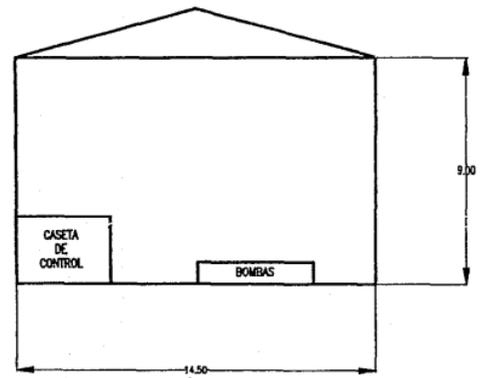
El requerimiento y objetivo principal marcado por el Departamento de Ingeniería de Pemex será entonces el de suministrar una fuente de lubricación a la Casa Central de Bombas de la Refinería Miguel Hidalgo (ver Fig. No. 17), además este sistema deberá contemplar otro sistema similar o de respaldo al sistema central con alimentación de aire independiente.



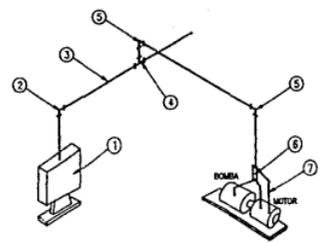
BA-1206-A BA-1206-B BA-1206-A BA-1206-B BA-1206-C BA-1206-D BA-1206-E BA-1207-A BA-1207-B BA-1207-C BA-1204-A BA-1204-B BA-1203-A BA-1203-B BA-1203-C BA-1202-A BA-1202-B BA-1201-A BA-1201-B BA-2516-A BA-2516-B BA-1205-A BA-1205-B BA-1206-A BA-1206-B BA-1206-C BA-1206-D BA-1206-E BA-1228-A BA-1227-A BA-1228-A BA-1225-A BA-1225-B BA-1226-B BA-1226-C BA-10 BA-11



P L A N T A



E L E V A C I O N



DETALLE 1

| LISTA DE MATERIALES | |
|---------------------|-----------------------------------|
| No. | DESCRIPCION |
| 1 | CONOLA GENERADORA |
| 2 | CODO DE 2" X 90 |
| 3 | EJE PRINCIPAL DE 2" |
| 4 | TEE REDUCIDA DE 2" X 3/4" |
| 5 | CODO DE 3/4" X 90 |
| 6 | DISTRIBUIDOR DE NIEBLA (MANIFOLD) |
| 7 | TUBING DE CONEDIONES |

| | | |
|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| UNIVERSIDAD LA SALLE | | |
| PLANTA: | Refinería de Tula Hidalgo | Fig. 17 |
| Casa de Bombas 1 | | |
| DEJAO: | G.S | FECHA: 15/JUL/93 |

Los dos sistemas deberán estar interconectados para en caso de fallar el principal, el de respaldo pueda entrar en operación en forma inmediata para poder mantener una lubricación continua en los equipos.

Deberá también suministrar la niebla a todos los equipos en forma centralizada, es decir, que sólo una consola o generador suministrará niebla lubricante a todos los equipos (en total son 64 incluyendo bombas, turbinas y motores), y además deberá contar con señales de alarma conectadas al sistema de control distribuido de la planta.

Una vez analizados los requerimientos del cliente empezaremos a diseñar el sistema de lubricación. Para lo anterior es importante definir una metodología para poder llegar a datos concretos, confiables, y que permitan un diseño y una elección correcta del equipo.

La metodología para el diseño de un sistema será invariablemente la misma.

4.1. Levantamiento físico de los equipos e instalaciones.

En este levantamiento que debe de ser en el campo, se obtendrá la información y características de los equipos como son: tipos de bombas o de motores, revoluciones por minuto (RPM), caballos de fuerza (HP), tipo y número de rodamientos y/o el diámetro de la flecha. Apoyados también en la información que proporciona el Departamento de Ingeniería de la planta es muy importante definir, cuál es el sistema rotativo del equipo en cuestión, es

decir, si son rodamientos, chumaceras, cojinetes, etc. La información antes mencionada debe ser analizada minuciosamente ya que de las características del equipo rotativo dependerá la cantidad de niebla a suministrar así como el tipo de lubricación (niebla purga o pura).

Por otro lado se tendrá que saber cuáles son las dimensiones exactas para poder diseñar la red de tubería así como la mejor localización de la consola para la mejor optimización de los materiales.

Las medidas más importantes para un buen diseño serán: largo, ancho y alto de la Casa de Bombas, distancia entre los equipos, y las distancias exactas de los puntos de apoyo (columnas, estructuras, etc.) para poder fijar la soportería. Esta información se puede obtener realizando mediciones físicas en el campo y/o apoyándose en planos e isométricos proporcionados por el Departamento de Ingeniería de la planta.

4.1.1. Elaboración de tablas de cálculo y planos de diseño.

Con la información obtenida en el levantamiento, se elaborarán las tablas de cálculo (ver Tabla No. 5), en las cuales podremos calcular el tipo de reclasificador y su consumo de aire por equipo, para después calcular el consumo de aire total del sistema.

Los planos se diseñarán en base a los datos y dimensiones obtenidos físicamente en el levantamiento. No hay que olvidar que el diseño deberá atender a las especificaciones mencionadas en el Capítulo 3, es decir:

- a) Material de la tubería de 2".
- b) Material de la tubería de 3/4".
- c) Diseño de la pendiente (IMPORTANTE).
- d) Número de disparos, etc.

Pero de manera muy especial también atendiendo a las especificaciones del cliente y a la normatividad de la planta.

4.1.2. Elección del cabezal generador y de la consola.

Para elegir el cabezal generador nos basaremos en los datos arrojados por las tablas de cálculos, con ellos podremos saber el número total de BI que necesita todo el sistema. Una vez obtenido este dato seleccionaremos nuestro cabezal atendiendo a los criterios previamente comentados en el Capítulo 3.

El tipo de consola dependerá únicamente de las necesidades del cliente y de ciertas recomendaciones que para tal efecto suelen hacer los fabricantes de este tipo de tecnología, y que van enfocadas básicamente a la seguridad de las instalaciones así como de los equipos.

Es importante mencionar que en lo referente a la consola generadora de niebla los detalles técnicos de ésta no serán analizados debido a que éstos son muy variados y dependen de la ingeniería de cada fabricante, sin

embargo, es recomendable que cualquier tipo de consola generadora de niebla tenga la instrumentación necesaria para que ésta permita una operación confiable y eficiente del sistema.

La instrumentación debe contar como mínimo con:

a) Filtros de aire y aceite.

El filtro de aire ayudará a eliminar la humedad del aire y el de aceite eliminará partículas suspendidas, agua y otros contaminantes en las líneas de suministro de aceite.

b) Reguladores de presión.

Estos reguladores serán necesarios para poder calibrar la entrada de aire al generador principal y al generador de respaldo.

c) Manómetros.

Los manómetros permitirán medir la presión de aire en la entrada del generador así como la presión de niebla en la salida del mismo, también puede ser posible medir la presión en el eje principal si es conectado un manómetro al final del mismo.

d) Alarmas de nivel.

Las alarmas de nivel son necesarias para poder detectar bajo y alto nivel de aceite en el tanque del generador.

e) Alarmas de presión.

Las alarmas de presión ayudarán a detectar baja y alta presión de suministro o baja y alta presión de niebla en el cabezal principal.

4.2. TABLA DE CALCULOS.

Debido a que los datos que se obtienen en el levantamiento son la base para elaborar la tabla de cálculos, se presentan a continuación en forma combinada, ya que de esta manera se facilita el manejo de la información y por otro lado es la forma correcta de calcular la capacidad de un sistema de lubricación por niebla.

En esta tabla se presentarán los siguientes datos y las siguientes variables:

a) Referencia.

Es el número de identificación del equipo, y normalmente es asignado por el Departamento de Ingeniería de la planta, obedeciendo únicamente al tipo de proceso.

b) Descripción.

Se refiere al tipo de equipo y a las características del mismo.

c) Capacidades.

Se refiere al número HP, RPM y diámetro de la flecha. También es importante detectar el número de rodamientos que componen a los equipos y si es posible también deberá conocerse el número de catálogo de los mismos, esto con el objetivo de obtener su diámetro interno en caso de que la flecha se encuentre oculta.

d) Reclasificadores.

Número y tipo del reclasificador.

e) Consumo de aire.

Gasto de aire que consumirá el o los reclasificadores instalados.

f) Total SCFM.

Consumo total de aire requerido como mínimo par lograr que el generador de niebla opere eficientemente.

TABLA NO. 5. LEVANTAMIENTO. Características y Capacidades.

Refinería Miguel Hidalgo. Tula de Allende, Hidalgo. Casa de Bombas No. 1, Sector No. 1.

| REFERENCIA | DESCRIPCION | HP | RPM | DIAM. FLECHA | NO. RODAMIENTOS | RECLASIFICADORES | | TOTAL | |
|------------|-------------|----|-------|--------------|-----------------|------------------|------|-------|------|
| | | | | | | NO. | SCFM | | |
| BA-1209-A | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1209-A | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1209-B | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1209-B | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1208-A | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1208-A | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1208-B | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1208-B | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1208-C | MOTOR-H | 75 | 3,560 | 1 3/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1208-C | BOMBA-C | | 3,560 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1208-D | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1208-D | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| | | | | | | | | 18 | 2.16 |

| REFERENCIA | DESCRIPCION | HP | RPM | DIAM. FLECHA | NO. RODAMIENTOS | RECLASIFICADORES | | TOTAL | |
|------------|-------------|----|-------|--------------|-----------------|------------------|------|-------|----------|
| | | | | | | NO. | SCFM | | CANTIDAD |
| BA-1208-E | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1208-E | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1208-F | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1208-F | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1207-A | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1207-A | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1207-B | MOTOR-H | 30 | 3,540 | 1 1/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1207-B | BOMBA-C | | 3,540 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1207-C | MOTOR-H | 30 | 3,540 | 1 5/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1207-C | BOMBA-C | | 3,540 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1204-A | TURBINA | 75 | 1,775 | 1 1/2 | 2(CHUM) | 500 | 0.03 | 2 | 0.18 |
| BA-1204-A | BOMBA-C | | 1,775 | 1 1/2 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1204-B | MOTOR-H | 75 | 1,770 | 1 5/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1204-B | BOMBA-C | | 1,770 | 2 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1203-A | MOTOR-H | 50 | 3,545 | 1 3/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1203-A | BOMBA-C | | 3,545 | 1 3/4 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1203-B | MOTOR-H | 50 | 3,545 | 1 3/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1203-B | BOMBA-C | | 3,545 | 1 3/4 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| | | | | | | | | 27 | 3.12 |

| REFERENCIA | DESCRIPCION | HP | RPM | DIAM. FLECHA | NO. RODA-MIENTOS | RECLASIFICADORES | | | TOTAL |
|------------|-------------|-----|-------|--------------|------------------|------------------|------|----------|-------|
| | | | | | | NO. | SCFM | CANTIDAD | |
| BA-1203-C | MOTOR-H | 50 | 3,545 | 1 3/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1203-C | BOMBA-C | | 3,545 | 1 3/4 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1202-A | MOTOR-H | 75 | 1,770 | 2 3/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1202-A | BOMBA-C | | 1,770 | 2 3/8 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| BA-1202-B | MOTOR-H | 75 | 1,770 | 2 3/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1202-B | BOMBA-C | | 1,770 | 2 3/8 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| BA-1201-A | MOTOR-H | 400 | 3,560 | 2 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1201-A | BOMBA-B | | 3,560 | 3 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1201-B | MOTOR-H | 400 | 3,560 | 2 7/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1201-B | BOMBA-B | | 3,560 | 3 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-2518-A | MOTOR-H | 150 | 1,787 | 3 3/8 | 2(AF) | 502 | 0.18 | 2 | 0.36 |
| BA-2518-A | BOMBA-C | | 1,787 | 2 1/2 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| BA-2518-B | MOTOR-H | 150 | 1,787 | 3 3/8 | 2(AF) | 502 | 0.18 | 2 | 0.36 |
| BA-2518-B | BOMBA-C | | 1,787 | 2 1/2 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| BA-1205-A | MOTOR-H | 60 | 3,545 | 1 3/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1205-A | BOMBA-C | | 3,545 | 1 3/4 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1205-B | MOTOR-H | 50 | 3,545 | 1 5/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1205-B | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| | | | | | | | | 29 | 4.08 |

| REFERENCIA | DESCRIPCIÓN | HP | RPM | DIAM. FLECHA | NO. RODAMIENTOS | RECLASIFICADORES | | TOTAL | |
|------------|-------------|-----|-------|--------------|-----------------|------------------|------|-------|----------|
| | | | | | | NO. | SCFM | | CANTIDAD |
| BA-1205-C | MOTOR-H | 50 | 3,545 | 1 5/8 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1205-C | BOMBA-C | | 3,545 | 1 5/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-1226-A | MOTOR-H | 125 | 3,575 | 2 1/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1226-A | BOMBA-C | | 3,575 | 2 1/4 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| BA-1227-A | MOTOR-H | 125 | 3,575 | 2 1/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1227-A | BOMBA-C | | 3,575 | 2 1/4 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| BA-1228-A | MOTOR-H | 125 | 3,575 | 2 1/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1228-A | BOMBA-C | | 3,575 | 2 1/4 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 2 | 0.30 |
| BA-1225-A | MOTOR-H | 125 | 3,575 | 2 1/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1225-A | BOMBA-C | | 3,575 | 2 1/4 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 2 | 0.30 |
| BA-1225-B | MOTOR-H | 125 | 3,575 | 2 1/4 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-1225-B | BOMBA-C | | 3,575 | 2 1/4 | 3(AF) | 503 | 0.30 | 1 | 0.30 |
| BA-10 | MOTOR-H | 250 | 3,575 | 2 1/2 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-10 | BOMBA-C | | 3,575 | 1 7/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| BA-11 | MOTOR-H | 250 | 3,575 | 2 1/2 | 2(AF) | 501 | 0.09 | 2 | 0.18 |
| BA-11 | BOMBA-C | | 3,575 | 1 7/8 | 3(AF) | 502 | 0.18 | 1 | 0.18 |
| | | | | | | | | 24 | 3.48 |

TOTAL = 12.84 SCFM

Simbología de la Tabla No. 5.

MOTOR-H. Motor Horizontal.

BOMBA-C. Bomba Centrífuga.

BOMBA-B. Bomba Balanceada.

AF. Baleros Antifricción.

CHUM. Chumaceras.

Notas:

- En los motores se consideran dos rodamientos, es decir, uno en el lado ventilador y otro en el lado cople.

- En las bombas balanceadas se considera un rodamiento en cada extremo.

Analizando la Tabla No. 5 nos damos cuenta que a excepción de la turbina, todos los equipos son bomba centrífugas y motores eléctricos horizontales, por lo tanto, el tipo de niebla que se deberá suministrar es el de niebla pura.

Para la turbina, debido a que ésta tiene chumaceras (2), una en cada extremo, el tipo de niebla que se suministrará será el de niebla purga.

¿Cuál es la razón?

Debido a que las chumaceras están con la flecha encamisada, la niebla pura no penetraría lo suficiente a través de los ojillos de la camisa para garantizar la lubricación en la misma, por tal motivo se deberá conservar el nivel de aceite. Sin embargo sí es recomendable suministrar niebla purga para presurizar la caja de las chumaceras y lograr que las chumaceras tengan lubricación constante en la parte superior de la flecha, logrando también con este procedimiento la preservación del aceite en la caja de las chumaceras.

Como el objetivo en la niebla purga únicamente es el de presurizar, el reclasificador que se usará invariablemente será el No. 501, ya que éste tiene la capacidad de lubricación necesaria para lograr un presurizado perfecto.

4.3. PROCEDIMIENTOS DE CALCULO.

Para entender mejor cuál fue el procedimiento usado en la tabla para calcular los consumos de niebla de los equipos, nos apoyaremos en la siguiente tabla que fue explicada previamente en el Capítulo 3.

| RECLASIFICADOR | No. BI | SCFM |
|-----------------------|---------------|-------------|
| 500 | 1 | 0.03 |
| 501 | 3 | 0.09 |
| 502 | 6 | 0.18 |
| 503 | 9 | 0.30 |

Hay que recordar que un BI es el resultado de multiplicar el diámetro de la flecha por el número de rodamientos de ésta.

Como un ejemplo del mismo procedimiento analizaremos el equipo BA-1209-A (Bomba y Motor).

Motor:

Diámetro de la flecha = $1 \frac{7}{8} = 1.875"$

Número de rodamientos: 1 AF (Por lado)

Por lo tanto: $1 * 1.875 = 1.875"$ BI (Bearing-Inch).

El reclasificador que proporciona las BI requeridas está entre el No. 500 (1 BI) y el No. 501 (3 BI), por lo tanto se seleccionará el No. 501, ya que éste es el inmediato superior.

Bomba:

Diámetro de la flecha = $1 \frac{5}{8} = 1.625"$

No. de rodamientos: 3 AF

Por lo tanto: $3 * 1.625 = 4.875$ BI (Bearing-Inch).

El reclasificador que proporciona las BI requeridas está entre el No. 501 (3 BI) y el 502 (6 BI), por lo tanto se seleccionará el número 502, ya que éste es el inmediato superior.

Este procedimiento se realizó en cada uno de los equipos, para posteriormente obtener los consumos totales de aire y aceite que fueron los siguientes:

a) Consumo de aire.

$$\text{BI TOTALES} = 2 \text{ reclasificadores } 500 * 1 \text{ (BI)} = 2$$

$$62 \text{ reclasificadores } 501 * 6 \text{ (BI)} = 186$$

$$25 \text{ reclasificadores } 502 * 6 \text{ (BI)} = 150$$

$$9 \text{ reclasificadores } 503 * 10 \text{ (BI)} = 90$$

$$\text{Total de reclasificadores} = 98$$

$$\text{Total de BI} = 428$$

Previniendo una futura ampliación o algún cambio en los equipos, como norma, se tiene que incrementar la capacidad obtenida en un 25%, con el objetivo de que el generador pueda responder a estos cambios, por lo tanto tendremos:

$$\text{TOTAL de BI} = 428 * 1.25 = 535 \text{ BI.}$$

$$\text{Como } 1 \text{ BI} = 0.03 \text{ SCFM}$$

$$\text{Entonces: } (535 \text{ BI}) * (0.03 \text{ SCFM}) = 16.05 \text{ SCFM Totales.}$$

El gasto total de aire será 16.05 SCFM.

b) Consumo de aceite.

Como 1 SCFM = 0.65 pulg 3/ hr.

Entonces: (16.05 SCFM) * (0.65 pulg 3/hr) = 10.43 pulg 3 /hr.

El gasto total de aceite será 10.43 pulg 3 /hr.

4.4. SELECCION DE LA CONSOLA Y GENERADOR DE NIEBLA.

Para la mejor comprensión de los requerimientos o de las características que pueden tener las consolas generadoras se ha diseñado la Tabla No. 6, la cual será de gran ayuda para la elección de la consola generadora, así como del sistema de lubricación en general.

En base a las necesidades del cliente y a lo expuesto en este capítulo, podemos observar en la tabla que la consola debe ser del tipo C.

TABLA No. 6. TIPOS DE SISTEMAS POR NIEBLA DE ACEITE

| TIPO A | TIPO B | TIPO C | TIPO D |
|---|--|--|---|
| Menos de 8 piezas de equipo que es lubricado. Usado en zonas de aplicación no crítica, por lo que no son revisados periódicamente. | Puede ser mayor o menor de 8 piezas de equipo. Servicio más crítico que en el tipo A. Su localización no es tan remota. | Muchas piezas de equipo desde 8 hasta 70 ú 80. | La misma cantidad de equipo que en C. |
| Temperatura ambiente moderada (20°F). Se pueden manejar bajas temperaturas si se asegura un continuo chequeo por parte del operario. | Los rangos de temperatura similares al tipo A. | Las temperaturas del ambiente pueden ser tan bajas desde 0°F hasta -10°F. Este es el sistema normalmente usado en las plantas petroquímicas. | Temperatura del ambiente hasta de -40°F. Estos sistemas son utilizados en regiones de clima frío extremo. |
| El tipo de aplicación es siempre del tipo purga. Si se desea utilizar la aplicación tipo pura se debe pasar al tipo B. La aplicación purga es utilizada porque el equipo está remotamente localizado y recibe muy poca atención. | El tipo de aplicación es una mezcla de niebla purga y pura. En los sistemas pequeños de este tipo se utiliza la niebla purga debido al control manual. Los sistemas más grandes utilizan niebla pura en mayor cantidad, ya tienen una fuente de suministro de aceite automática. | Casi todos los baleros de bolas utilizan niebla pura y muy pocas niebla purga. Todas las chumaceras utilizan la niebla purga. Todas aquellos baleros que utilizan niebla purga son aquellos que están sujetos a grandes cargas de empuje. Las temperaturas del bombeo no son factor de cuidado. | Igual que Tipo C. |
| Ninguna consola es requerida, ya que el sistema es manualmente controlado. Si es necesario proteger a la cabeza contra la humedad del ambiente. | Un pequeño gabinete es generalmente usado. No se necesitan más cosas debido a que los controles son mínimos. | Una consola grande es utilizada en donde se encuentran todos los controles y alarmas. | Igual que Tipo C. |
| No se tienen alarmas automáticas o controles, debido a que el sistema es usado en equipo no crítico, el cual está remotamente localizado y utiliza niebla purga. Si la niebla pura quiere ser utilizada se debe pasar al sistema B. | Se tiene un manómetro para la presión de la niebla y una alarma local para alta o baja presión. Se tiene también otra alarma para controlar el nivel de aceite. No se necesitan calentadores. | Se requieren todas las alarmas y controles requeridos para los calentadores de aire y aceite. Las alarmas deberán vigilar lo siguiente: a) presión de la niebla. b) nivel del aceite. c) temperatura del aire. d) temperatura del aceite. Todas las alarmas deberán tener una luz local y remota de localización. | Mismos controles y alarmas que los del tipo C. |

| TIPO A | TIPO B | TIPO C | TIPO D |
|---|--|--|--|
| El sistema de distribución es tubo galvanizado de dos pulgadas y tubing SS. No se requiere de ningún recubrimiento debido a que las temperaturas del ambiente no son bajas. Las líneas deben ser inclinadas hacia el generador. | El sistema de distribución para los sistemas pequeños es de 1 in. y para los mayores de 2 in. La tubería galvanizada es la normalmente utilizada pero en algunos casos se puede utilizar aluminio. Tampoco es requerido recubrir la temperatura. | Se utiliza siempre tubería de 2 in. generalmente galvanizada, aunque se puede utilizar aluminio en algunos casos. La tubería debe estar inclinada hacia el generador y no requiere que esté protegida o cubierta. | El sistema de distribución es de 2 in. Para climas fríos abajo de -20°F. el recubrimiento y calentamiento de tubería es requerido. Los recubrimientos también son requeridos en los drop point. La tubería debe estar con una ligera pendiente hacia la consola. |
| El tanque de reserva de aceite es llenado manualmente debido a que el consumo de aceite es mínimo ya que los equipos utilizan niebla pura. | Normalmente el tanque es llenado manualmente, aunque se puede utilizar un tanque de 55 galones para los sistemas grandes. Cuando sea posible, el llenado deberá ser automático hacia un tanque. | El llenado del tanque de reserva de aceite deberá ser siempre automático. La mínima capacidad del tanque será de 55 galones. Para este tipo de sistemas es preferible utilizar tanques de gran capacidad conectados a central de llenado a granel. | Los mismos requerimientos que los del sistema C. Se necesita además que el tanque de reserva esté recubierto para cuando se opere a bajas temperaturas. En todos los casos posibles deberá utilizarse un tanque de gran capacidad accionado automáticamente. |
| No se necesita ninguna unidad de respaldo, debido a que el sistema es manual. | La unidad de respaldo no es normalmente requerida. Si un número de bombas utiliza niebla pura y algunas de ellas será requerida. | La unidad de respaldo es requerida. Debe ser capaz de proporcionar el mismo volumen que la unidad principal, ser completa o sólo contar con mínimos requerimientos tales como tanque de reserva, cabezal generador, manómetro de la presión de niebla, tubo de nivel de aceite y manómetro y regulador de la presión del aire. | Igual que el tipo C. Para operaciones en ambientes fríos, la unidad de respaldo debe estar equipada con un calentador de aceite para mantener al aceite caliente cuando no esté en uso la unidad de respaldo. Un calentador del aire no es requerido en esta unidad. |
| No existen controles pues no hay unidad de respaldo. | No se necesitan controles para la unidad de respaldo, ya que sólo se utiliza en casos de emergencia. Lo único que se requiere es un manómetro de la presión de la niebla, un regulador de la presión del aire y un tubo de nivel. | La operación de la unidad de respaldo es enteramente manual. Se requieren los mismos aditamentos que en el tipo B. | Similar al tipo C. Un calentador de aceite, para climas fríos, mantendrá automáticamente la temperatura del mismo. Se le puede añadir un switch de control a este calentador para utilizarlo en épocas frías. Los demás controles de esta unidad serán manuales. |

La única razón por la cual no se eligió una consola del tipo D, es que el lugar en donde se realizó este proyecto tiene temperaturas ambientales que oscilan sobre los -10°F .

Para elegir el cabezal generador debemos tener en cuenta que el consumo total de BI (535 BI) está entre las cabezas de generación de 400 y 600 BI (Ver Tabla No. 4, Pág. 72). Debemos de recordar que cada cabeza actúa eficientemente a una presión determinada, la cual estará íntimamente relacionada con la capacidad de generación de diseño de la misma.

El cabezal elegido para generar los BI requeridos fue el de 600 BI, ya que éste es el inmediato superior. Una pequeña desventaja de elegir este cabezal es que debido a que no es 100% eficiente (89% de eficiencia), la generación de niebla no será totalmente eficiente con respecto a la presión, sino un nivel inferior, teniendo por lo tanto algunas pérdidas en los gastos de aire y de aceite. Sin embargo, esto es técnicamente aceptado ya que de lo contrario se hubiera necesitado dos o más consolas (dependiendo de su cabezal), para poder cubrir las necesidades de lubricación en el proyecto, lo cual resulta más costoso y elimina la centralización de la lubricación, que es uno de los grandes atractivos técnicos de este tipo de tecnología.

4.5. DISEÑO DE LA INSTALACION DEL SISTEMA.

La parte final de este proyecto se refiere al diseño del sistema de distribución de niebla, pero, para poder realizar este diseño es importante tomar en cuenta los siguientes criterios:

a) Recomendaciones de diseño (ver página no. 55).

b) Saber cuáles serán los planes futuros de las instalaciones, para evitar caer en el error de diseñar un sistema pasando por alto, por ejemplo, la expansión.

c) Diseñar la trayectoria más conveniente del eje principal, para esto, es necesario adaptarse lo más posible a las instalaciones existentes (columnas, tuberías de proceso, tuberías de servicios, etc.), ahorrando de esta manera tiempo y dinero.

d) Asegurarse que en algún lugar del área a lubricar existan tomas de aire y de corriente, porque de lo contrario hay que construirlas.

Las líneas de aire pueden ser de servicios o de instrumentos, cuidando únicamente que la calidad del aire sea aceptable (máximo 3% de humedad).

También puede ser factible la instalación de un compresor cerca de la consola generadora.

Los puntos b), c) y d) determinarán la localización de la consola en el área a lubricar.

e) El sistema de distribución no debe ser complejo, pero tampoco debe violar las normas y las especificaciones técnicas de diseño. Se debe evaluar, cuando sea necesario, la posible instalación de consolas de

generación más pequeñas en lugares estratégicos de la planta cuando las condiciones de diseño así lo requieran.

Este caso en particular (Casa de Bombas No. 1 Refinería Miguel Hidalgo), es un diseño sencillo debido a que todos los equipos están alineados en una sola dirección (ver Fig. No. 17).

Los materiales usados fueron los especificados para este tipo de proyecto:

- Tubería de 2" Ced. 40 grado A-53B.
- Tubería de 3/4" Ced. 40 grado A-53B.

Nota: Ambos tipos de tubería deberán tener un terminado galvanizado, para protegerlas del ambiente corrosivo que se encuentra en este tipo de plantas.

- Manifolds o distribuidores de acero inoxidable.
- Reclasificadores de acero inoxidable.
- Tubing de 1/4" * 0.035 de acero inoxidable.
- Tubing de 3/8 * 0.035 de acero inoxidable.

Es importante señalar que estos materiales marcados en las especificaciones, no son de ninguna manera fabricaciones especiales, sino por el contrario, son de fabricación comercial evitando de esta forma problemas de suministro.

Del plano de la Fig. No. 17 podemos observar la sección a lubricar, lo primero que se consideró fue la colocación de la consola generadora teniéndose básicamente dos alternativas: lado norte o lado sur.

Como la instalación fue lineal, es decir, no tuvo derivaciones secundarias, se eligió el lado norte, debido a que la Casa de Bombas tuvo una ampliación en el lado sur (actualmente la Casa de Bombas de la Refinería Miguel Hidalgo ha sufrido cambios posteriores al proyecto), y además en ese punto se tienen tomas de aire con presión suficiente (5 Kg.) así como de energía eléctrica.

La forma en que se armó e instaló el eje principal fue saliendo de la consola con un codo de 90, para posteriormente prolongar éste hacia el lado sur, siempre con la pendiente dirigida a la consola.

Lo anterior obedece a las siguientes razones:

a) El diseño estructural de la Casa de Bombas así como la disposición de los equipos de la misma, facilitaron el alineamiento del eje sin derivaciones secundarias, y por otro lado se tuvieron los claros suficientes para poder diseñar una buena pendiente (1" cada 20 ft.).

b) La pendiente anteriormente mencionada nos permitió eliminar la pierna de drenado, que se hubiera tenido que instalar si el cabezal hubiese tenido el mismo nivel de lado norte a lado sur.

Los ramales para hacer llegar la niebla lubricante del eje principal a los equipos, fueron diseñados partiendo del eje principal con una Tee 2" (el cabezal principal es de 2"), pero reducida a 3/4" en su parte superior.

Posteriormente, se ensamblaron a esta Tee (parte reducida), los disparos hacia los equipos, que básicamente estuvieron fabricados de tubería de 3/4 y codos de 3/4, conectando al final del disparo el manifold o distribuidores de niebla.

Del distribuidor se conectaron los reclasificadores previamente calculados, que inyectarán la niebla a los equipos a través del tubing de 1/4, misma que será recolectada después de lubricar y enfriar en el dren de la bomba, venteando por el tubing de 3/8.

El tubing está diseñado con los diámetros anteriormente mencionados (1/4 y 3/8), para que la niebla no pierda presión en la entrada, y en la salida no sufra estrangulamiento, ya que de lo contrario podría presionar todo el sistema.

De esta manera damos por terminado el ejemplo del proyecto realizado en la Refinería de Tula, Hidalgo. Este tipo de instalaciones se pueden complicar hasta el extremo de provocar la falta de lubricación en los equipos, lo cual sin duda alguna nos llevaría al paro total de los mismos. Por tal motivo y aunque los proyectos e instalaciones sean parecidas, éstas deben ser revisadas minuciosamente debido a que cada proyecto tiene detalles propios.

CAPITULO V

PROBLEMATICA Y ASPECTOS ECONOMICOS DE LA LUBRICACION POR NIEBLA DE ACEITE

La mayor parte de los equipos rotativos de proceso continuo que integran los cientos de plantas de la Industria Mexicana son: bombas (en todas sus clases), turbinas de vapor, cajas de engranes, sopladores, ventiladores, chumaceras, motores eléctricos, etc. Son instalaciones en donde se transforman materias primas en procesos muy diversos y en donde su manejo requiere bombeo en sus diferentes fases: elaboración, almacenaje, distribución y entrega final a los usuarios.

Su problemática en función de la confiabilidad, comentada anteriormente, se puede resumir de la siguiente manera:

Ineficiencia causada por fallas y carencias de la lubricación convencional, ocasionada por los siguientes factores:

- a) Paros imprevistos y/o impredecibles.
- b) Falta de protección contra la corrosión y contra la contaminación.
- c) Falta de una tecnología avanzada.
- d) Carencia de medidas eficaces contra la fricción y desgaste.
- e) Dispendio de los recursos de la empresa.

f) Mala estrategia en el mantenimiento de plantas.

En este punto es importante destacar lo siguiente:

Los tiempos muertos de producción y los paros imprevistos deben ser minimizados, para poder lograr que los ritmos de producción sean constantes.

Es por ello que los costos de mantenimiento se encuentran dentro de las partidas con mayor peso, por tal motivo el mantenimiento debe ser controlado eficientemente y los recursos de la empresa deben ser debidamente invertidos.

Existen básicamente dos tipos de mantenimiento:

- El mantenimiento predictivo/preventivo.
- El mantenimiento correctivo.

Recientemente se han hecho encuestas que nos hacen ver que en la actualidad, tomando en cuenta el tiempo, las horas / mantenimiento son utilizadas de la siguiente manera:

| | | | |
|--------------------------|-----|---|------|
| Mantenimiento preventivo | 30% | | |
| Mantenimiento predictivo | 10% | = | 100% |
| Mantenimiento correctivo | 60% | | |

Sin embargo, la tendencia es cada día dirigida a que las empresas empleen mayores horas / mantenimiento en las áreas del predictivo - preventivo. Se estima que en los próximos cinco años el tiempo del mantenimiento se defina de la siguiente manera:

| | | | |
|--------------------------|-----|---|------|
| Mantenimiento preventivo | 50% | | |
| Mantenimiento predictivo | 30% | = | 100% |
| Mantenimiento correctivo | 20% | | |

Lo anterior implica la automatización de las labores del mantenimiento rutinario. La LUBRICACION DEL EQUIPO ROTATIVO es un ejemplo típico de dichas funciones de mantenimiento rutinario que normalmente son responsabilidad directa de las áreas operativas y del personal de mantenimiento.

Aunado a la problemática técnica originada por la ineficiencia de la lubricación convencional, también existe otro tipo de problemática o limitantes relacionadas íntimamente con el recurso humano que impiden la solución de los problemas técnicos mediante la implementación de tecnologías avanzadas y que podemos clasificar de la siguiente manera:

a) Relacionadas con su filosofía.

Normalmente no existe una filosofía adecuada en cuanto a los avances tecnológicos se refiere, es decir no existe la intención de adoptar tecnologías en forma estructurada.

b) Relacionadas con su organización.

En una planta de proceso continuo que pretende adoptar nuevas tecnologías, la organización, administración, implementación, control y sobre todo la retroalimentación son procedimientos para lograr que la gente asimile la tecnología, pero por lo general, estos procedimientos se dan en forma desordenada.

c) Relacionada con el desarrollo de sus recursos humanos.

No existe personal técnico independiente y responsabilizado para detectar, evaluar y controlar el desarrollo de nuevas tecnologías dentro de la institución.

d) Relacionada con sus recursos económicos financieros.

Cuando en definitiva no hay recursos o presupuesto para adoptar nuevas tecnologías, este tipo de proyectos quedan aislados por no ser áreas prioritarias, más sin embargo, el enfoque correcto no es el de la inversión, es el del ahorro, ya que es factible convertir los costos y gastos de lubricación industrial (convencional) en inversiones rentables y recuperables a corto plazo.

En base a lo anterior es increíble que en estos tiempos de cambio, los profesionales del mantenimiento tomen las decisiones de automatizar con demasiada lentitud aunque estas decisiones sean sencillas y científicamente comprobadas. Probablemente esto se deba a que desconocen ciertas

tecnologías de punta, o bien piensan que seguir con las metodologías y técnicas convencionales es lo más correcto, para con esta posición no destinar ("arriesgar") recursos a tecnologías que pueden solucionar muchos problemas y además generar ahorros nunca imaginados, dejando ver únicamente una total resistencia a las nuevas tecnologías y evidentemente la ausencia notable de una estrategia o metodología capaz de plantear objetivos, implementar planes de acción para alcanzarlos y por último dar seguimiento y control a las acciones realizadas.

Para profundizar, es decir conocer la causas de la ineficiencia que manejamos en nuestra industria es indispensable cambiar en primera instancia ciertas estructuras ideológicas, psicológicas, culturales y pedagógicas (barreras), ciertamente vinculadas íntimamente con el recurso humano, recurso principal de cualquier empresa.

El desarrollo de los recursos humanos no puede ir hacia adelante sin tener la oportunidad de acceder a TECNOLOGIAS AVANZADAS. Sin embargo, es también preciso reconocer que de nada sirve o servirá, tener a la mano tecnologías avanzadas, si el elemento humano no responde en forma eficaz y con la premura que imponen y exigen las condiciones de la industria actualmente.

La dirección de una empresa debe cobrar conciencia absoluta de que el cambio estructural, sólo se dará en la medida que se dé la respuesta y el compromiso para lograr alcanzar el cambio de estructuras, mediante el desarrollo eficaz y responsable de sus recursos humanos.

El reto de introducir una NUEVA TECNOLOGIA en cualquier parte del mundo, en entidades gubernamentales o en empresas públicas o privadas no es una tarea sencilla.

Cuando se hace referencia a las BARRERAS LIMITANTES para la implementación de nuevas tecnologías, resulta complejo el tratar de explicarlas detalladamente porque con toda seguridad caeríamos en puntos muy subjetivos, sobre todo con los criterios adoptados actualmente por la gente dedicada al mantenimiento como por ejemplo:

- Todas nuestras instalaciones están perfectas.
- Las mejoras que se hagan deberán ser de fácil aplicación sin invertir recursos en forma substancial.
- Nuestros conocimientos y experiencias son tan amplios que nos permiten no tener limitaciones.
- Es más seguro no hacer cambios que asumir riesgos y fracasar.
- Debemos evitar correr riesgos innecesarios.
- Si los cambios no se hacen como se deben no vale la pena intentarlos.
- El seguir los consejos, procedimientos o normas de otros, significa que los nuestros no son correctos y podemos perder por lo tanto el control de la situación.

- No podemos delegar algo importante a quien no sea como nosotros.
- Hay una respuesta correcta para cada problema y esperemos hasta encontrarla nosotros mismos, con nuestros recursos.

Sin embargo, es necesario referirse a ellas de alguna forma y atacárlas, puesto que se conocen y se han podido identificar.

La RESISTENCIA AL CAMBIO tiene implicaciones que retardan el éxito en la introducción de nuevas tecnologías a pesar de ser muy útiles, con múltiples ventajas en sus aplicaciones y como se mencionó anteriormente probadas en cuanto a su eficiencia.

Este último capítulo si bien no es un estudio del producto o del mercado en donde se analice cuál podría ser el éxito de introducir la tecnología (que está científicamente probada), su factibilidad, las probables aplicaciones en el país, etc., analiza cuál es la solución a la problemática de su introducción, para poder llegar a conclusiones que pueden de alguna forma ser un antecedente para poder enfrentar situaciones similares.

5.1. PLANEACION ESTRATEGICA.

Una de las condiciones básicas de una planta de proceso continuo que cuente con equipo rotativo, es indudablemente lo que se denomina "CONFIABILIDAD".

La CONFIABILIDAD descansa principalmente en la capacidad de los Sistemas, Procedimientos y Prácticas de Lubricación que proporcionen los

elementos que permiten funcionar con regularidad y operar con eficiencia constante el equipo rotativo, garantizando con esto, la participación de la oferta de los productos de la empresa en el mercado, asegurando calidad y permanencia.

Como se mencionó anteriormente en este capítulo se conocen perfectamente los problemas que ocasiona la ineficiencia de la lubricación convencional, sin embargo hay barreras que impiden la introducción de esta tecnología y que ponen en duda la confiabilidad de los equipos, estas barreras básicamente son:

- a) Falta de información.
- b) Factores íntimamente ligados con el recurso humano.

Una herramienta eficiente y comprobada es la PLANEACION ESTRATEGICA que como cualquier disciplina de la ciencia y de la tecnología, fortalece las organizaciones industriales y además es básica y fundamental par lograr un alto nivel de confiabilidad en la automatización de la lubricación en el equipo rotativo.

Para continuar con este desarrollo se hace indispensable plantear dos preguntas:

¿Qué es planeación estratégica? y ¿Por qué la planificación estratégica puede ser una solución en la industria mexicana?

Muchos autores han definido el concepto de planeación estratégica, la que en este trabajo se presenta es una recopilación que puede aplicar en el desarrollo del mismo.

Se puede definir la planeación estratégica partiendo de las definiciones de planeación y de estrategia.

Planeación. Es el proceso continuo de emprender decisiones (tomar riesgos) en forma sistemática y con el mejor conocimiento de sus resultados, organizando sistemáticamente los esfuerzos necesarios para llevar a cabo dichas decisiones y midiendo los resultados contra las expectativas a través de una continua retroalimentación.

Estrategia. Es la concepción de los negocios, el conjunto de metas y objetivos que se persiguen, incluyendo los planes, políticas y cursos de acción, la colocación de recursos, autorizaciones y tareas que son fijadas por al menos un ciclo de programa de planeación de una empresa; en resumen, estrategia, son las acciones que realiza una empresa enfocada al cumplimiento de una meta previamente establecida.

Por lo tanto la PLANEACION ESTRATEGICA es el proceso que se inicia con el establecimiento de metas organizacionales, define estrategias y políticas para lograr estas metas y desarrolla planes detallados para asegurar la implementación de las estrategias, controlando de forma eficiente el seguimiento y el resultado de las mismas.

Para entender mejor los conceptos anteriormente definidos y para poderlos aplicar de forma objetiva para lograr la introducción de tecnologías avanzadas y su implementación se hace necesario que los profesionales del mantenimiento den respuestas a las siguientes interrogantes:

- ¿Quiénes somos?
- ¿Cómo somos?
- ¿Cuál es nuestra misión?
- ¿Qué clase de negocio somos?
- ¿Nuestra empresa cuenta con tecnologías avanzadas y eficientes?
- ¿Cuándo serán obsoletos nuestros procedimientos y nuestra tecnología?
- ¿Somos competitivos con la tecnología que opera actualmente?
- En función de la tecnología, ¿cómo está la competencia hoy y cómo estará mañana?
- ¿NECESITAMOS IMPLANTAR TECNOLOGIAS DE PUNTA PARA HACER MAS EFICIENTE NUESTRA PRODUCCION?
- ¿Qué riesgos tenemos?
- ¿Qué riesgos debemos medir?
- ¿Qué riesgos debemos tomar?

El análisis correcto de las preguntas anteriores puede plantear un panorama diferente en la toma de decisiones trascendentales, como lo es el "ADOPTAR UNA NUEVA TECNOLOGIA", pero hay que tener cuidado en no hacer pronósticos fríos o con futurismo respecto a las instalaciones, tecnología o al personal, más bien, todos los pronósticos y las decisiones deberán encaminarse al futuro y crecimiento de una organización.

5.1.1. Areas claves de la dinámica de una empresa.

Cuando en una organización no hay una planeación estratégica o en su defecto ésta es ineficiente, los recursos y los esfuerzos no se dirigen a las áreas adecuadas.

Cuando hablamos de áreas o plantas con equipo rotativo, éstas se vuelven críticas, ya que normalmente son de proceso continuo y el paro no programado de éstas puede ocasionar bajas sensibles en los índices de producción.

Por tal motivo se hace necesario destinar recursos y esfuerzos en forma ordenada para lograr el mejoramiento de las instalaciones.

Una planta con una buena planeación estratégica y con una administración correcta de su mantenimiento, dirige sus esfuerzos a las siguientes áreas:

1. Innovación.- El grado en que la empresa está involucrada en desarrollar nuevas tecnologías.

2. **Productividad.-** El grado en que la empresa mide o está tratando de medir su productividad en base a su tecnología actual.
3. **Recursos Humanos y Financieros.-** La adquisición y uso eficiente de los recursos.
4. **Utilidades.-** Identificación de los niveles de utilidad a ser alcanzados, en términos de porcentajes de Tasa Interna de Retorno, porcentajes de márgenes de utilidad.

Recordemos que la implementación de tecnologías de punta en la mayoría de los casos incrementa estos índices.

5. **Capacitación y Desarrollo.-** Criterio para evaluar la formación de técnicos más capacitados para la transferencia tecnológica mediante la adquisición y puesta en marcha de tecnologías de punta y con el único objeto de que logren desarrollar sus potencialidades.

Este último punto es de vital importancia debido a que un proceso de transferencia tecnológica involucra toma de decisiones, es por esto que se deberá poner especial cuidado en que los grupos gerenciales, de jefatura, supervisores o cualquiera que intervenga en las decisiones, esté capacitado y su nivel de desarrollo sea permanentemente vigilado para tener gente de cambio, que esté al día y tenga la preparación necesaria para conseguir las metas que la empresa se ha propuesto alcanzar.

5.1.2. La planeación estratégica como una solución.

Las decisiones estratégicas como la de adoptar tecnologías de punta tienen impacto y consecuencia de largo plazo en toda la empresa. Estas decisiones se deben tomar en forma anticipada a los riesgos que se presentarán en un futuro.

La implementación y el control de la planeación estratégica en una planta de proceso continuo está involucrada directamente con la toma de decisiones gerenciales.

Por tal motivo para lograr implementar la planeación estratégica y lograr una buena organización en las áreas de mantenimiento y operación que permita el análisis y la introducción de nuevas tecnologías es necesario dividir la planeación estratégica en tres subprocesos íntimamente interrelacionados.

1. Determinar los objetivos.

2. Implementación de sistemas y procedimientos para alcanzar los objetivos.

3. Control y evaluación de los sistemas y procedimientos así como de toda la estrategia.

1. Determinación de los objetivos:

Los objetivos y la determinación de éstos es el resultado de los deseos totales de la empresa, en un período de tiempo determinado. Se traducen en términos específicos y deben ser planteados en base a la filosofía y políticas de una empresa y deben involucrar a todas las personas relacionadas con la problemática para evitar desviaciones en el proceso de alcanzarlos.

2. Implementación de sistemas:

Conocidos los objetivos es importante investigar y detectar cuáles son las actividades o herramientas que se tienen que implementar para lograr el cumplimiento de los objetivos en el tiempo planeado.

Es en esta etapa del proceso en donde la introducción y análisis de tecnologías tiene verdaderos problemas debido a la carencia de un procedimiento y a la falta de personal técnico capacitado para este tipo de análisis.

3. Control y evaluación:

Esta fase significa medir el desarrollo de los sistemas implantados y compararlos contra lo planeado, detectar desviaciones significativas entre los resultados y las expectativas. Identificar las razones de esas desviaciones y tomar medidas correctivas.

La formulación de planes de contingencia también quedan incluidos con el control. Los planes de contingencia pueden ser puestos en acción rápidamente si las circunstancias cambian inesperada o repentinamente o bien, si los planes y programas implementados no están aportando los resultados esperados.

5.2. JUSTIFICACION ECONOMICA.

Dada la importancia que reviste el aspecto económico en este tipo de tecnologías, es importante mencionar lo siguiente:

En realidad este punto debería haberse tratado inmediatamente después del caso práctico, pero se ha colocado intencionalmente al final con el único fin de lograr un mejor entendimiento del estudio económico, es decir, una vez conocido y analizado todo lo anteriormente expuesto, los criterios técnicos, de diseño, así como la problemática que engloba este tipo de tecnología, estarán claros, y como resultado obtendremos que los análisis de los ahorros operacionales, así como de administración, serán muy digeribles. Normalmente antes de hacer una adquisición de un Sistema de Lubricación por Niebla, es necesario soportarlo básicamente en dos aspectos: el teórico y el económico.

En lo que se refiere al aspecto técnico, éste se ha comentado ampliamente en el desarrollo de este trabajo, concluyéndose que es una tecnología eficiente y comprobada, pero también generadora de múltiples beneficios en la industria.

Desde el punto de vista económico, podemos mencionar que en las plantas industriales, este tipo de tecnologías se analizan para la toma de decisiones atendiendo a dos criterios:

- Período de recuperación de la inversión, y
- El número de veces en que ésta se recupera en función de la vida útil del equipo.

En base a lo anterior, podríamos hacernos la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los datos o cuál es la información que ayudará a calcular el período de recuperación de un Sistema de Lubricación por Niebla Automatizado?

Solamente existe una respuesta: es indispensable determinar mediante algún método los ahorros que se espera tener referidos a un tiempo determinado (1 año), y cuantificarlos bajo procedimientos generalmente aceptados por las industrias usuarias de dichos Sistemas de Lubricación.

Generalmente, y adoptando este criterio como una regla, los ahorros que genera un Sistema de Lubricación por Niebla serán los siguientes:

- a) Ahorros en Reparaciones de Bombas.
- b) Ahorros en Reparaciones de Motores.
- c) Ahorros en Reparaciones de Turbinas.

d) Ahorros en Mano de Obra.

e) Ahorros en el Consumo de Lubricante.

Al respecto es importante mencionar que los ahorros antes mencionados únicamente son los que más impactan en un estudio económico, pero existen otros, que si bien no son tan impactantes, sí son importantes como lo son: agua, energía, movimiento de materiales, etc.

El ejemplo de JUSTIFICACION ECONOMICA que se presente a continuación, está basado en el caso práctico con el fin de redondear el trabajo.

La forma de cómo se calcularán cada uno de los ahorros, está claramente indicada en el desarrollo de la JUSTIFICACION ECONOMICA, sin embargo, es importante hacer los siguientes comentarios:

A) Las reducciones de fallas que se proponen en la justificación económica (90% Bombas, 90% Motores y 65% Turbinas), están científicamente comprobadas y su mecánica puede ser analizada en el estudio "TRIBOLOGICAL PERFORMANCE EVALUATION OF OIL MIST LUBRICATION" de A. Shamin y C.F. Kettleborough de la Universidad de Texas.

B) El número de reparaciones anuales atribuibles a la lubricación (35% Bombas, 20% Motores y 28% Turbinas) son estimados que se han obtenido en la industria mexicana.

C) Como se mencionó anteriormente, sólo se tomaron en cuenta los ahorros que impactan directamente, despreciando los ahorros mínimos, esto es con el fin de poder desarrollar una JUSTIFICACION ECONOMICA totalmente apegada a la realidad del caso práctico presentado.

Una vez obtenidos todos los datos relacionados a los ahorros anuales, se calculó el período de recuperación de la inversión dividiendo el monto total del equipo o del proyecto entre el total de los ahorros anuales estimados.

Por último, el número de veces en que se recupera la inversión se obtuvo dividiendo la vida útil del equipo entre el período de recuperación del mismo.

El resultado de la JUSTIFICACION ECONOMICA (1.75 años como período de recuperación y 8.57 las veces en que ésta retorna en función de la vida útil), es muy atractivo si tomamos en cuenta el siguiente criterio:

Hoy en día, debido a la situación económica del país y a la transferencia tecnológica, la industria mexicana está manejando como un estándar en equipos o proyectos de apoyo a los sistemas operativos de la industria, períodos de recuperación que oscilan entre tres y cuatro años, es decir, un proyecto con una recuperación económica menor a lo expuesto con anterioridad es financieramente rentable.

JUSTIFICACION ECONOMICA

AHORRO EN COSTOS DE MANTENIMIENTO

A) BOMBAS.

| | |
|--|--------------------|
| 1. Población de Bombas. | 32 Bombas |
| 2. Incidencia de Reparación. | 2 Años |
| 3. Número de Bombas Esperadas Anualmente a Reparación (Línea 1 entre Línea 2). | 16 Reparaciones |
| 4. Reparaciones Anuales Atribuibles a Fallas en Lubricación. (Línea 3 x .35) (35% Estadística Industrial) | 5.6 Reparaciones |
| 5. Reducción de Fallas con SLN (90%). (Línea 4 x .90). | 5.04 (Reducción) |
| 6. Costo Total Estimado de Reparación de una Bomba. | 4,500.00 USD/Bomba |
| 7. Ahorro Anual en los Costos de Mantenimiento en Bombas. (Línea 5 x Línea 6). | 22,680.00 USD/Año |

B) MOTORES.

| | |
|---|--------------------|
| 8. Población de Motores. | 31 Motores |
| 9. Incidencia de Reparación. | 2 Años |
| 10. Número de Motores Esperados Anualmente a Reparación. (Línea 8 entre Línea 9). | 15.5 Reparaciones |
| 11. Reparaciones Anuales Atribuibles a Falla en Lubricación. (Línea 10 x .20). (20% Estadística Industrial). | 3.1 Reparaciones |
| 12. Reducción de Fallas con SLN. (90%). (Línea 11 x .90). | 2.79 (Reducción) |
| 13. Costo Total Estimado de Reparación de un Motor. | 3,000.00 USD/Motor |
| 14. Ahorro Anual en los Costos de Mantenimiento en Motores. | 8,370.00 USD/Año |

C) TURBINAS.

| | |
|--|-------------------|
| 15. Población de Turbinas. | 1 |
| 16. Incidencia de Reparación. | 1 Año |
| 17. Número de Turbinas Esperadas Anualmente a Reparación. (Línea 15 entre Línea 16). | 1 Reparación |
| 18. Reparaciones Anuales Atribuibles a Fallas en Lubricación. (Línea 17 x .28). (28% Estadística Industrial). | 0.28 Reparaciones |
| 19. Reducción de Fallas con SLN. (65%). (Línea 18 x .65). | 0.18 (REDUCCION) |
| 20. Costo total Estimado de Reparación de una Turbina. | 5,800.00 USD/Año |
| 21. Ahorro Anual en los Costos de Mantenimiento en Turbinas. | 1,055.00 USD/Año |

D) MANO DE OBRA.

| | |
|---|-----------------------------|
| 22. Número de Lubricadores Utilizados. | 3 |
| 23. Turnos de Operación. | 3 |
| 24. Costo Diario Estimado por Lubricador (N\$70.00). | 22.58 USD Lubricador/Día |
| 25. Costo Total de la Operación (Línea 24 x 3). | 67.74 USD/Día |
| 26. Días Estimados de Operación. | 365 Días |
| 27. Costo Anual de Operación. (Línea 25 x Línea 26). | 24,725.81 USD/Año |
| 28. Número de Lubricadores con SLN. | 1 Lubricador |
| 29. Costo Diario Estimado por Lubricador. | 22.58 USD Lubricador/Día |
| 30. Costo Diario de Operación con SLN. (22.58 x 1 Turno x 1 Lubricador). | 22.58 USD/Día |

| | |
|---|--------------------|
| 31. Días de Operación Estimados. | 365 Días |
| 32. Costo Anual de Operación de Lubricación con SLN. (Línea 30 x Línea 31). | 8,241 USD/Año |
| 33. Ahorro Anual en Operación de Lubricación. (Línea 27 - Línea 32). | 16,483.87 USD/Año |
| E) LUBRICANTE. | |
| 34. Consumo Normal de Lubricante por Bomba Anual. (Estadística de la Industria). | 18.50 Galones /Año |
| 35. Consumo Anual de las Bombas a Lubricar. (32 Bombas x 18.50 Galones /Año). | 592 Galones /Año |
| 36. Costo del Lubricante Mineral por Galón. | 4 USD/Galón |
| 37. Costo por Lubricante Mineral Anual. | 2,368 USD/Año |

| | |
|--|----------------------------------|
| 38. Consumo Anual de Lubricante con SLN. (592 x .60). (Reducción del 40%). | 355.2 Galones/Año |
| 39. Costo Anual de Lubricante con SLN. (Línea 28 x 4.00). | 1,420.8 USD/Año |
| 40. Ahorro Anual por Consumo de Lubricante. (Línea 37 - Línea 39). | 947.2. USD/Año |
| 41. Total de Ahorros Directos. | 49,536.07 USD/Año |
| F) AHORRO NETO. | |
| 42. Tasa de Gastos Indirectos. | 0.25 Tasa Indirectos/Directos |
| 43. Total de Ahorros Indirectos Respecto a los Directos. (Línea 41 x 0.25). | 12,384 USD |
| 44. Ahorros Totales Anuales con SLN. (Línea 41 + Línea 43). | 61,920.08 USD |

| | |
|---|---------------|
| 45. Costo de Mantenimiento y Operación Anual del SLN. | 5,000.00 USD |
| 46. Ahorro Anual Neto Implementando SLN. | 56,920.08 USD |

(Línea 44 - Línea 45).

G) RECUPERACION DE LA INVERSION.

| | |
|---|----------------|
| 47. Costo del Proyecto de SLN. | 100,000.00 USD |
| 48. Período de Recuperación de la Inversión | 1.75 Años |

(PRI = Costo del Proyecto/Ahorro Anual Neto = Línea 47/Línea 46)

| | |
|---|------------|
| 49. Vida Útil Esperada del SLN. | 15 Años |
| 50. Número de Veces que se Recupera la Inversión. | 8.57 Veces |

(RI = Vida útil/Período de Recuperación = Línea 49/Línea 48)

CONCLUSIONES

Los grandes avances tecnológicos, así como el gran crecimiento que la industria ha registrado en los últimos años, nos obliga a reaccionar con la misma rapidez, porque de lo contrario la tecnología se volvería obsoleta con el tiempo, provocando con esto un rezago tecnológico de graves consecuencias para la industria.

Un ejemplo de lo anterior son los SISTEMAS DE LUBRICACION POR NIEBLA, que definitivamente han revolucionado la mecánica de la lubricación en los equipos rotativos.

Después de haber realizado este estudio no hay ninguna duda en lo que respecta a su funcionamiento, operación, y lo mas importante, a los ahorros y ventajas que genera como consecuencia de automatizar la lubricacion, destacando:

- Reducción del consumo de lubricantes hasta en un 40%.
- Debido a la presión positiva, las bajas temperaturas de operación y la correcta dosificación se logra disminuir en un 75 % las fallas en los engranes y en un 90 % las fallas en rodamientos.
- Es una lubricación limpia, continua, centralizada y automatizada.
- Se reduce considerablemente el consumo de energía.

Por otro lado, como se comprobó, financieramente es una inversión segura y tan atractiva que merece ser analizada en la industria.

(Recuperación de la inversión 1.75 años)

Sin embargo, es importante aclarar que la Lubricación a Base de Niebla no es la solución a todos los problemas de lubricación, porque como cualquier tecnología tiene limitaciones que si bien, no son muy grandes, si lo suficiente para restringir el servicio a determinados equipos, como ejemplo podemos citar los compresores.

De cualquier forma, por todo lo expuesto anteriormente, es una tecnología que se debería implementar, sobre todo en las plantas de proceso contínuo.

Al respecto sería importante contestar la siguiente pregunta:

Por que en México el proceso de introducir tecnologías de vanguardia es tan lento y en algunos casos imposible ?

La respuesta es que aunque se tiene conocimiento de las necesidades tecnológicas, no se cuenta con la administración suficiente y con el conocimiento total para poder analizar el beneficio de tecnologías de vanguardia, es decir, la industria mexicana esta empezando a tomar el ritmo de la reconversión industrial, esto debido a una crisis económica acentuada en los últimos 15 años.

La tendencia de los industriales hoy en día, está encaminada a invertir en nuevas industrias, así como para reconvertir las ya existentes, por lo tanto es tiempo de dar un cambio drástico en la forma de pensar y actuar con respecto a las tecnologías de vanguardia; los directores y los empresarios que tienen bajo su responsabilidad la toma de decisiones, deben estar concientes de que se deben adaptar de manera inmediata, pero para lograr esto, hay que cambiar viejas costumbres y actitudes que sin duda alguna existen en la industria mexicana.

El primer paso para lograr lo anterior es la capacitación del recurso humano, en la medida que esto se dé, el personal reaccionará con más velocidad.

Por otro lado, la administración de la industria debe acoplarse para RECIBIR y poder ANALIZAR las tecnologías de vanguardia.

Este trabajo no pretende ser una guía de lubricación y mucho menos el de reorganizar la industria, que si bien tiene detectadas las fallas, la corrección de las mismas no es cosa fácil. Pero si pretende introducir y hacer del conocimiento general otro sistema de lubricación, que por sus avances se ha colocado como la tecnología más importante para la lubricación de equipos rotativos.

También intenta crear conciencia de la situación actual de la industria, ésta, debe cambiar en corto plazo, por que de no ser así, corremos el riesgo de no alcanzar la competitividad y eficiencia necesaria para afrontar con bases firmes los cambios tecnológicos y económicos que se darán en los últimos años del presente siglo.

BIBLIOGRAFIA

1. Block heins P. Oil Mist Lubrication Handbook System and
Gulf Publishing Company. 1a. ed. E.U.A., 1987.
2. Gómez García, Joas. Formulación y Evaluación de Proyectos.
UPIICSA - I.P.N. México.
3. Benlloch María, José. Lubricantes y Lubricación Aplicada.
Ed. CEAC 1a. ed. España.
4. Block Heins P. Oil Mist Lubrication Cust Bearing Maintenance.
ASME E.U.A. 1989
5. Monfragón Liévana, C. Curso Diplomado Planeación Estratégica.
ITAM, México, 1991
6. Oil Mist System Operation Guide. Lubrication System Company.
7. Block Heins P. Practical Experience with Oil Mist (Conferencia).