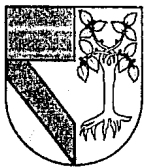


308917



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**

**ESCUELA DE INGENIERIA  
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

30  
2oj-

**SISTEMAS CENTRALIZADOS  
DE LUBRICACION  
POR NIEBLA DE ACEITE**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA: MECANICA ELECTRICA  
P R E S E N T A  
MIGUEL URIBE CASTILLO

REVISOR  
FIS. MARIANO ROMERO VALENZUELA

MEXICO, D.F. 1992



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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 GENERAL

### Introducción.

#### Capitulo I.-Métodos de lubricación: Características y aplicaciones.

- A.- Características de los métodos de lubricación.
  - 1) Entrega de lubricante.
  - 2) Confiabilidad.
  - 3) Consideraciones económicas.
  - 4) Consideraciones de diseño.
- B.- Métodos de lubricación.
  - 1) Lubricadores manuales.
  - 2) Lubricadores de alimentación por goteo.
  - 3) Lubricación por bañado ó salpicado.
  - 4) Aceitadores por anillos, cadenas y collares.
  - 5) Lubricadores de absorción y desalojo.
  - 6) Lubricadores de alimentación forzada.
  - 7) Lubricadores de aire - aceite.
  - 8) Sistemas presurizados de circulación.
  - 9) Sistemas de lubricación centralizada.
  - 10) Lubricación incorporada (autolubricación).
- C.- Conveniencia del estudio de los sistemas de lubricación por niebla de aceite.

#### Capitulo II.-Fenomenología del proceso de lubricación por niebla.

- A.- Generación.
- B.- Métodos de generación.
- C.- Control de la niebla.
- D.- Tipos de niebla y sus propiedades.
- E.- Aplicación de la niebla de aceite: aspectos teóricos.
- F.- Eliminación de la niebla.

#### Capitulo III.-Descripción general de los sistemas de lubricación por niebla: elementos principales.

- A.- Componentes básicos del sistema.
- B.- Esquema general del sistema.

#### Capitulo IV.-Detalles de diseño y criterios de selección de los elementos principales.

- A.- Unidad generadora de niebla.
- B.- Sistema de reserva de aceite.
- C.- Sistema de distribución.
- D.- Reclasificadores.

Capitulo V.- Aplicación de la niebla: tipos y maneras de adaptación del equipo a lubricar.

- A.- Lubricación por inmersión en seco: niebla pura.
- B.- Lubricación por inmersión en húmedo: niebla purga
- C.- Adaptación del equipo para la lubricación por niebla: venteos.
- D.- Recolección del lubricante.

Capitulo VI.- Cálculos principales para los sistemas de lubricación por niebla.

- A.- Unidades del sistema.
- B.- Cálculos de los BI y SCFM requeridos para los elementos de maquinaria a lubricar.
- C.- Selección de reclasificadores.
- D.- Selección de cabeza generadora.
- E.- Cálculo del aire requerido.
- F.- Cálculo del aceite requerido.
- G.- Guías generales para la selección adecuada de un sistema de lubricación por niebla.
- H.- Diseño del sistema de distribución.

Capitulo VII.- Diseño completo de un sistema: ejemplo ilustrativo.

- A.- Introducción.
- B.- Presentación del problema: requerimientos del cliente.
- C.- Características del equipo a lubricar y cálculos necesarios para la selección.
- D.- Selección de la cabeza generadora y cabezal.
- E.- Diseño de la instalación del sistema.

Capitulo VIII.- Operación y mantenimiento general del sistema.

- A.- Puesta en marcha del sistema.
- B.- Variables a controlar y sus valores estándar.
- C.- Guías de operación y mantenimiento.

Capítulo IX.- Aplicación a algunos equipos de la niebla de aceite.

- A.- Motores eléctricos.
  - 1) Adaptación de los motores existentes.
  - 2) Procedimiento de readaptación de un motor lubricado por grasa para lubricarlo por niebla
  - 3) Precauciones sobre la conversión de los motores.

- B.- Bombas.
- C.- Cajas de engranes.
- D.- Ventiladores ó sopladores.

## Capítulo X.- Conclusiones.

Anexo I.- Características de los lubricantes utilizados en los sistemas por niebla.

- A) Propiedades del aceite.
- B) Viscosidad y resistencia a la formación de cera.
- C) Estabilidad.
- D) Características de reclasificación y formado de niebla.
- E) Límites de toxicidad.

Anexo II.- Estudio acerca del comportamiento de la niebla de aceite en un sistema cerrado.

Apéndice A.- Tipos de consolas.

Apéndice B.- Lista de materiales del proyecto en estudio.

Bibliografía.

# INTRODUCCION

---

## INTRODUCCION

Los problemas de fricción, lubricación y desgaste revisten una gran importancia ya que la nueva tecnología necesita disminuir el consumo de potencia y energía e incrementar la durabilidad de los elementos y confiabilidad de las máquinas, evitando así paralelamente el excesivo desgaste.

Los ingenieros se han enfrentado a través de los años como evitar este tipo de problemas, ya que se ha estimado que de toda la energía producida en el mundo, una tercera parte se pierde por fricción. Esta puede definirse como la fuerza de oposición que se desarrolla cuando dos superficies se mueven una con respecto a la otra. El arte de reducir la fricción colocando una sustancia entre las dos superficies en contacto se le llama lubricación. Aunque el material que se utiliza, llamado lubricante, está generalmente en estado líquido, se pueden utilizar sólidos y gases en su lugar, dependiendo de la aplicación de que se trate.

Aunque no sea el tema concreto que se trate en este texto, necesitamos mencionar que los fenómenos de desgaste, fricción y lubricación han originado, debido a los problemas ocasionados por os mismos, hacer estudios serios y con bases teóricas de sus principios. Ya no bastaba sólo conocer los fenómenos, sino que era necesario conocer sus fundamentos y empezar desde estos para poderles hacer frente a los problemas que de ellos se derivaban. Se empezó entonces a desarrollar procesos especiales de manufactura, cambio de materiales y condiciones de fricción para parar los procesos de desgaste y desarrollar la potencia y energía de las máquinas. El desarrollo de todo lo anterior ocasionó el inicio de la ciencia de la Tribología, la cuál " es la ciencia y tecnología relacionada a las superficies lubricadas, que interactúan y se mueven una con respecto a la otra, y a todos los aspectos prácticos relacionados a evitar dichos fenómenos".

Estamos pues ante un problema en el cuál se puede ver, después de analizar los dos párrafos anteriores, es de gran relevancia actual y cuya solución mejorará enormes problemas vinculados a la industria. Derivado de esto se han desarrollado diversos métodos de lubricación que han mejorado en gran manera la pérdida de energía mecánica derivada de la fricción. Sin embargo, las ventajas que se pueden obtener al disminuir esa fricción pueden ser a un alto costo tanto de operación como económico. En la elección de estos métodos se deberá buscar aquel que nos resuelva los problemas específicos y cuyas ventajas técnicas sean superiores a los demás métodos. Así, los sistemas de lubricación a base de niebla llegan a ser una solución a estos problemas aunque su costo de inversión sea

alto. No es fácil comprender ni aceptar que una capa fina de lubricante disuelto en aire llegue a ser superior a la lubricación normal. El lector no debe estar entonces en este momento sorprendido de lo anterior, puesto que el desarrollo e implementación de éstas técnicas de lubricación no han sido fáciles de dar a entender a las personas relacionadas con la lubricación a lo largo del tiempo.

El presente trabajo pretende dar a entender los sistemas de lubricación a base de niebla exclusivamente y no un tratado ó manual de lubricación en general. Lo que se busca es mostrar todo lo necesario que un ingeniero debe conocer para poder así diseñar en un futuro este tipo de sistemas. La información expuesta aquí podrá sufrir modificaciones con el tiempo, aunque los estándares y datos básicos se mantengan iguales, ya que los cambios en estas tecnologías tendrán que estar relacionados directamente a los que se produzcan debido a los nuevos estudios sobre desgaste y fricción, los cuáles, en ésta última década y de entrada al siglo XXI, serán muy rápidos y de grandes alcances.



# CAPITULO I

---

## CAPITULO I

### Métodos de lubricación: Características y Aplicaciones.

Al seleccionar los aceites o grasas para lubricar cualquier tipo de maquinaria se tiene 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 dá al lubricante utilizado. El método seleccionado, los accesorios con los cuáles se aplicará el lubricante y la manera de instalación contribuirán a una lubricación eficiente y económica de la maquinaria.

El método 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 método seleccionado tendrá otra restricción. En la manera en que el método seleccionado busque la seguridad del personal, el ahorro de costos y el aumento de la vida del lubricante se tendrá mayores ventajas de este método respecto a los demás.

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

Lo que se tratará en este capítulo es relacionado a la información relacionada a los diversos tipos de lubricación (métodos), mencionando sus ventajas y aplicaciones más frecuentes. Debido a que el tema que estamos tratando es el referente a los sistemas de lubricación a base de niebla, la información que demos sobre estos será ampliada en los subsiguientes capítulos, por lo que aquí sólo trataremos algunas características esenciales de los mismos.

#### Características de los métodos de lubricación.

Para evaluar un método 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.

a) Entrega de lubricante. Este punto engloba los siguientes aspectos:

a.1) Regulación.- demasiado lubricante puede ser tan riesgoso como la aplicación de poco lubricante. El método de lubricación debe tener un accesorio por medio del cual 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 esté siendo suministrado. El método 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 períodos 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 puede 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 método 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 cual la intervención humana sea completa o 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 o el intervalo de éstos, 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 método 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 o se detiene. En general, los métodos 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 ó 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 o 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 éstos 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 de lubricante.- en muchos casos es necesario mantener el nivel de 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 lubricadores 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. Si se basa en este principio, 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.

#### **Métodos de lubricación.**

Los métodos de lubricación pueden ser catalogados en las siguientes divisiones en forma general:

- a) Lubricadores manuales.
- b) Lubricadores de alimentación por goteo.
- c) Lubricación por bañado o salpicado.
- d) Aceitadores por anillos, cadenas y collares.
- e) Lubricadores de absorción y desalojo.
- f) Lubricadores de alimentación forzada.
- g) Lubricadores de aire - aceite.
- h) Sistemas presurizados de circulación.
- i) Sistemas de lubricación centralizada.
- j) Lubricación incorporada (autolubricación).

Aunque existan lubricadores catalogados en la misma categoría y sus diferencias físicas sean marcadas así como sus detalles, se deberá tomar en cuenta que su principio de

operación es el mismo, por lo que el estudio que se tenga de estos lubricadores se hará en forma general junto con sus aplicaciones y características, puesto que la idea que se pretende dar es una visión global de cada uno de estos sistemas. Para mayor información de estos sistemas el lector podrá consultar la bibliografía.

### **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 cuáles 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 del 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.

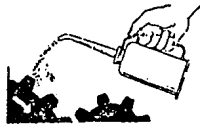
Aunque el costo inicial de la lubricación manual sea bajo, los costos de mantenimiento pueden llegar a resultar altos; además, la confiabilidad decrece al depender todo el sistema de la intervención humana así como también aumentará la probabilidad de contaminación del lubricante. Otras desventajas que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

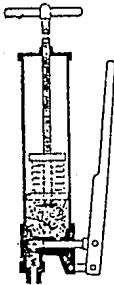
En la figura 1.1 se muestran algunos accesorios utilizados en la lubricación manual.

### **Lubricadores de alimentación por goteo.**

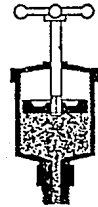
Este tipo de lubricadores se basan en el flujo ocasionado por la gravedad al inyectar el lubricante hacia los rodamientos u otros tipos de elementos. Este método es utilizado cuando los puntos a lubricar son pocos y la ubicación de los mismos es accesible. Su costo depende de que tipo de lubricador sea 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



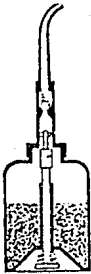
Lubricación Manual



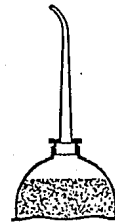
Pistola de  
grasa



grasera con tornillo



aceitera con pistón



Aceitera manual

Figura 1.1

iniciado o parado automáticamente dependiendo del lubricador a utilizar.

El aceite entregado con esta lubricación se caracteriza por un flujo en función de la gravedad, variable con el tiempo, no adaptable y por goteo; además, la regulación del flujo dependerá del lubricador utilizado. Las aplicaciones típicas con esta lubricación incluyen los rodamientos de rodillos, engranes, cadenas, guías de máquinas, bombas, compresores y chumaceras.

Dos equipos con los cuales se puede llevar a cabo este tipo de lubricación se muestran en la figura 1.2.



Lubricación por goteo



aceitador manual



aceitador con pistón

figura 1.2



## Lubricación por bañado.

Este tipo de lubricación es ampliamente utilizada para maquinaria que tenga partes móviles cuya velocidad sea alta, y que se introducen en un bañado de aceite y mojan los rodamientos u otros elementos a ser lubricados. Un sistema por bañado o salpicado requiere en forma indispensable de que el mecanismo a ser lubricado esté completamente sellado.

El costo inicial de los sistemas por salpicado depende en un principio del costo de sellar completamente el mecanismo o elemento de máquina, pudiendo ser entonces alto o 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 sea mínima. 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 sea casi nula.

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.

La figura 1.3 nos muestra un sistema típico de salpicado el cuál consiste en un tanque dentro del cuál penetran una o mas partes de los partes móviles de la máquina que está siendo lubricada. Frecuentemente se utilizan venas o acanaladuras 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.

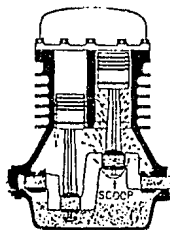
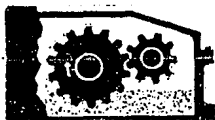


figura 1.3

## 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 rigidamente 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 han proveido una lubricación satisfactoria para flechas de 1 a 2 pulgadas de diámetro a velocidades mayores de 3600 rpm. Para flechas en el rango de 4 pulgadas, velocidades menores son necesarias para proveer una mejor lubricación. 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 figura 1.4.

aceitador por anillo

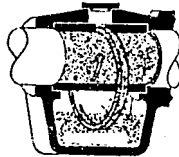


figura 1.4

La cadena flexible al tener mayor cantidad de eslabonamientos tendrá mayor área de contacto, lo que le dará mayor capacidad de salpicado de aceite de la que se obtendría al utilizar un anillo a bajas velocidades. La cadena sólo es utilizada a bajas velocidades, ya que al aumentar ésta el contacto entre la cadena y la flecha se pierde (ver figura 1.5).

Por lo que se refiere a los aceitadores por collar, éstos están rigidamente 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 (figura 1.6).

#### aceitador por cadena

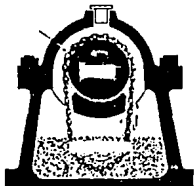


figura 1.5

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 aceiteadores 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, éste 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 ó 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.

#### aceitador por collar

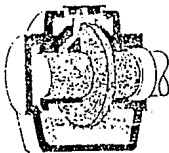


figura 1.6

## Lubricadores de absorción y desalojo.

Estos lubricadores utilizan las propiedades de retención del aceite de los absorbedores de fieltro y el empaçado del desperdicio para proveer lubricante al rodamiento deseado. En algunas aplicaciones el mimbres de desalojo o el fieltro sirven para unir el tanque de aceite con la superficie a ser lubricada. El aceite es absorbido del tanque por la acción capilar del material con el que está formado el mimbres. La parte que va a ser lubricada roza con el aceite absorbido por el fieltro y se limpia con el lubricante.

Este sistema requiere de un empaquetado idóneo el cuál se lleva la mayor parte del costo inicial. Los costos de mantenimiento dependerán del medio en el que sean colocados estos sistemas, aunque suelen ser por lo general bajos. En medios realmente sucios, estos sistemas requerirán una inspección periódica para determinar si ha tomado lugar un taponamiento o vidriado del material del mimbres o fieltro y verificar si la lubricación que se está logrando es efectiva o no.

El flujo de aceite es automático, y el sistema generalmente permite la recirculación de aceite. El material del fieltro sirve para filtrar el aceite que sea succionado, aunque una excesiva contaminación del aceite puede taponar el fieltro como se ha mencionado anteriormente. Este flujo de aceite es uniforme, continuo y algunas veces adaptable a los cambios de velocidad. Por lo general, la regulación del aceite entregado no puede ser controlada a menos de que se tengan cambios en el nivel de aceite en el tanque.

Este tipo de lubricación es utilizada en los ferrocarriles y en los rodamientos de las máquinas de tracción. En otras aplicaciones, por razones económicas o de espacio, el fieltro retiene todo el aceite y ninguna inmersión o tanque de aceite es utilizado. Estos aparatos requieren una caja de empaque simple, por lo que su costo inicial es bajo. Dependiendo de la aplicación, la relubricación puede ser o no necesaria; así, los costos de mantenimiento serán determinados de la aplicación específica. La razón de estrega de aceite de estos sistemas es menor comparada con los sistemas que incluyen un tanque de aceite. El flujo de aceite es automático, no uniforme y decrece según decrezca la saturación del fieltro. Las aplicaciones típicas para estos equipos incluyen rodamientos de manguito.

Ejemplos de equipos para este tipo de lubricación se muestran en la figura 1.7.

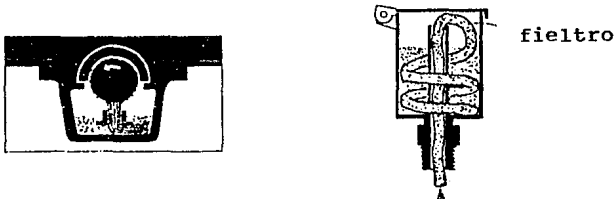


figura 1.7

Existen dos tipos de equipos especiales para este tipo de lubricación. En la figura 1.8 se muestra una flecha lubricada por un fieltro en forma directa. Un resorte empuja a un disco que tiene contacto con el fieltro y aprisiona a éste al rodamiento a lubricar. La parte inferior del fieltro se encuentra inmersa en el aceite. Para tener una lubricación efectiva se deberá cuidar el nivel de aceite en forma periódica.



figura 1.8

En la figura 1.9 (a) se muestra un fieltro sujeto a un resorte, por medio del cual se puede lubricar superficies deslizantes y pequeños rodamientos. El lubricador transporta el aceite desde el tanque de reserva hacia la superficie a lubricar por medio de la capilaridad del fieltro. El resorte asegura un buen contacto con la superficie. La figura 1.9 (b) enseña un sistema de absorción saturado. Una porción del fieltro es presionado contra la flecha a través de una ventana en el rodamiento. Se tienen anillos en los extremos del fieltro para asegurar que el aceite de pérdida en las partes extremas de las baleros regrese al fieltro y se recircule. En otros

sistemas se hacen modificaciones en el diseño para añadir aceite periódicamente al fieltro, mientras que en los menos se tiene considerado tener una vida de servicio conforme a la del motor para evitar una relubricación.

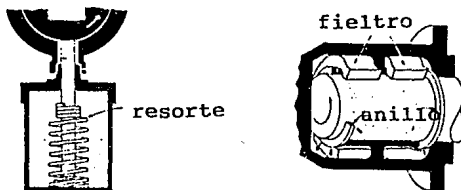


figura 1.9

#### Lubricadores de alimentación forzada.

Este tipo de sistema está básicamente compuesto de una o varias bombas con émbolo ajustado montadas en un recipiente común. Las bombas son accionadas desde una flecha rotativa a través de un sistema de transmisión. Esta flecha puede ser una parte del elemento movable de la máquina que esté siendo lubricada o estar conectado al mismo; también es posible que la flecha sea accionada por otro mecanismo independiente.

El costo inicial de este tipo de sistemas puede ser al principio alto, pero éste se compensa con los gastos bajos de mantenimiento, además de que la contaminación de aceite es casi nula. El sistema se cataloga como automático, ya que el flujo de aceite empieza y acaba conforme la máquina se acciona; además, la regulación de este flujo puede ser controlada por los ajustes del émbolo de la bomba.

Otras características de estos sistemas es que la entrega de aceite es uniforme y adaptable a los cambios de velocidad, aunque resulte periódica y no de régimen continuo. Debido a que no existe una recirculación del sistema, estas unidades son utilizados en equipos que no requieran alta cantidad de lubricante, para no tener el problema de estar al cuidado del llenado del tanque de reserva periódicamente.

Las aplicaciones de servicio típicas incluyen cilindros de vapor, rodamientos para máquinas de diesel y gas. máquinas utilizadas en la fabricación de vidrio y baleros de metal a presión.

Muchos dispositivos de este tipo de sistemas pueden llegar a no utilizar bombas. En la figura 1.10 un lubricador mecánico que puede entregar aceite cada 5 ó 10 min. en forma de gotas, o un flujo continuo de varias gotas cada segundo. Las presiones que se llegan a manejar en estos mecanismos abarcan desde la presión atmosférica hasta los 5000 psi. En muchas aplicaciones, varios de estos equipos son accionados desde un tanque en común, teniendo una línea separada de entrega de aceite para cada uno de ellos. El accionamiento de estos equipos se hace por medio de un sistema de transmisión conectado al mecanismo de la máquina que vaya a ser lubricada.

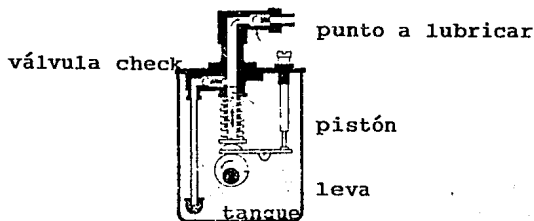


figura 1.10

#### Lubricadores de aire - aceite.

Estos lubricadores operan por la inyección o bombeo de aceite gota por gota dentro de un flujo de aire o línea de vapor, o por medio de la succión de aceite por la acción de aire comprimido que pasa a través de un pequeño orificio o válvula de control. La mezcla resultante de aire - aceite se impregna después en la superficie del balero y provee una capa fina de lubricante sobre el mismo.

Debido a que es necesario una línea de aire comprimido, otra línea de aceite limpio y un sistema de tuberías, los costos iniciales de la lubricación por aire-aceite son altos; sin embargo, los costos de mantenimiento resultan bajos por lo que se puede recuperar la inversión.

Estos sistemas pueden ser automatizados para funcionar según el tiempo de operación de los equipos a lubricar. La entrega de aceite es positiva, con muy poca posibilidad de contaminación del mismo. Se tiene que esta lubricación es continuo en su flujo sin que exista recirculación del aceite utilizado, con lo que la regulación de este flujo puede ser controlada.

Las aplicaciones en donde mejor se adaptan estos sistemas

se relacionan a los baleros de alta velocidad (ya sean planos, de bolas o de rodillos), cajas de engranes, cadenas, superficies deslizantes y guías.

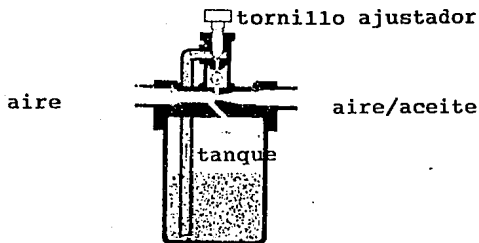


figura 1.11

Dentro de estos sistemas podemos encontrar variantes en el modo de utilizar estos principios. El tipo que trataremos en este trabajo se referirá al mostrado en la figura 1.11, del cuál hablaremos ampliamente en los subsiguientes capítulos. Otra manera de tener una fina mezcla de aceite con aire es por medio del uso de válvulas de spray (figura 1.12), la cuál tiene dos líneas diferentes de suministro de aire y de aceite. El aire presurizado que entra a la válvula acciona un pistón que abre la válvula check de entrada del aire. Entonces el aire y lubricante se mezclan en la zona donde se localiza el venturi para formar entonces un spray. Este tipo de válvulas se usan generalmente con sistemas de control accionados a ciertos intervalos de tiempo para entregar el lubricante a períodos establecidos.

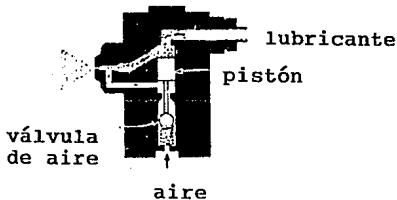


figura 1.12

### Sistemas presurizados de circulación.

Estos sistemas emplean para obtener la presión necesaria, la acción de la gravedad ó el funcionamiento de una bomba.



Generalmente se emplean para lubricar al mismo tiempo diversas elementos de una misma máquina; como el aceite es recirculado, es posible tener una mayor economía del aceite, además de que este se aprovecha como medio para la eliminación de calor.

Como estos métodos se tienen que adaptar a la máquina que vaya a ser lubricada, el costo inicial de tubería, controles, bomba y reacondicionamiento del equipo es alto, pero la resistencia del sistema a que penetren contaminantes al lubricante y la durabilidad del mismo, hacen que los costos de mantenimiento sean bajos. Una vez que los controles han sido colocados, el operador sólo necesita hacer una rutina de inspección y añadir el aceite que sea necesario. En los sistemas donde se incluya la acción de una bomba, el flujo que se tenga será positivo. En general, los sistemas presurizados de circulación permiten la regulación del flujo y proveen una entrega de aceite en régimen continuo.

Estos sistemas además de proporcionar el lubricante necesario, este también se utiliza como medio refrigerante, ya que a través de él se transporta el flujo de calor. Existen tres tipos de estos métodos de lubricación:

a) Inmersión en húmedo.- el aceite presurizado es bombeado directamente desde el nivel de aceite hacia los puntos a lubricar, regresando el aceite por gravedad (figura 1.13). La principal desventaja de este método de lubricación, es que una falla de la bomba ocasionará que se pare completamente el suministro de lubricante.

b) Inmersión en seco.- se alimenta lubricante a los puntos necesarios por medio de una bomba que succiona el lubricante desde un tanque de aceite. Este tanque a su vez, es llenado por otra bomba de suministro, la cual toma el aceite desde los puntos bajos donde se ha lubricado. Esta segunda bomba es de mayor capacidad que la primera, de ahí que la inmersión de los puntos a lubricar permanezca prácticamente seco. Una falla en cualquiera de las bombas de estos sistemas no será tan grave como el de la inmersión en húmedo, ya que el lubricante podrá caer por gravedad hacia los puntos mientras el tanque de aceite tenga un nivel apropiado (figura 1.14).

c) Por flujo de gravedad.- es similar al método anterior excepto que la bomba de presión es eliminada y el aceite fluye a los puntos a lubricar desde el tanque de suministro por medio de la acción de la gravedad. La presión de entrega del aceite será función de la altura del recipiente respecto a la máquina, pudiendo existir en estas líneas de suministro válvulas de regulación (figura 1.15).

Los sistema a presión se emplean frecuentemente cuando baleros sometidos a alta carga y de alto costo deben ser

protegidos y se requiere que tengan una confiabilidad alta. Ejemplos de elementos lubricados por estos sistemas son los rodamientos de las turbinas de gas, engranes de reducción, los engranes accionadores de las laminadoras, los rodamientos de éstas, los rodamientos y engranes de las máquinas utilizadas en la fabricación de papel, y en máquinas de combustión interna.

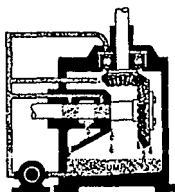


figura 1.13

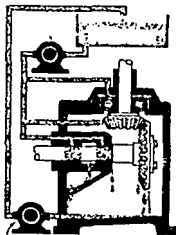


figura 1.14

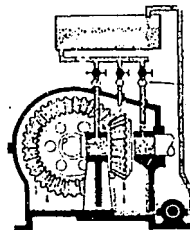


figura 1.15

#### Sistemas de lubricación centralizada.

Estos sistemas pueden ser diseñados tanto para grasa como para aceite. Un sistema de lubricación centralizado típico requiere de un tanque y una bomba localizado estratégicamente, además de un sistema de tuberías y válvulas de distribución para la entrega necesaria de lubricante a los diversos puntos a lubricar. El sistema puede ser operado manualmente ó puede ser diseñado para la entrega de lubricante automáticamente a intervalos de tiempo establecidos.

La tubería y la disposición no uniforme de las válvulas, hacen que el costo inicial de estos sistemas sea alto, pero los costos de mantenimiento resultan bajos si el diseño del sistema ha sido hecho correctamente. También, el costo inicial es compensado por la independencia del sistema, su durabilidad, seguridad y resistencia a la contaminación de lubricante.

Los sistemas centralizados generalmente se accionan conforme el funcionamiento del equipo a lubricar, siendo su flujo uniforme, periódico más que continuo y puede ser regulado. Este tipo de sistemas son idóneos en las industrias de papel y acero, máquinas herramientas y maquinaria relacionada a la industria de la madera, las cuáles tienen un número grande de puntos a lubricar, siendo algunos de éstos difíciles de lubricar por ser inaccesibles ó de servicio peligroso.

Se puede dividir a estos sistemas dentro de dos grandes categorías:

a) Sistemas centralizados directos,- el paso de la bomba determina la cantidad de lubricante que será entregada a los puntos deseados, por lo que no existen válvulas de paso en las líneas que conectan la bomba con los puntos a lubricar.

b) Sistemas centralizados indirectos.- la bomba proporciona el lubricante necesario, pero existen válvulas de paso en la línea de transmisión las cuales entregan sólo el lubricante necesario hacia los puntos a lubricar. Dentro de estos sistemas se tienen cuatro tipos básicos:

- Sistema por retorno de resorte de una sola línea. (figura 1.16).
- Sistema de dos líneas (figura 1.17).
- Sistema en serie con flujo reversible (figura 1.18).
- Sistema de múltiples en serie, sin flujo reversible (figura 1.19).

Cada uno de los sistemas anteriores tienen diferentes características de aplicación que dependen principalmente de dos factores: el número de puntos a lubricar y el costo que se quiere hacer en la inversión del sistema. Para una explicación detallada de cada uno de estos métodos el lector se puede referir a la bibliografía.

### **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 esta categoría se incluyen los rodamientos de bolas o rodillos prelubricados por el mismo fabricante, los cuáles 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 checadas antes de que su uso sea aprobado.

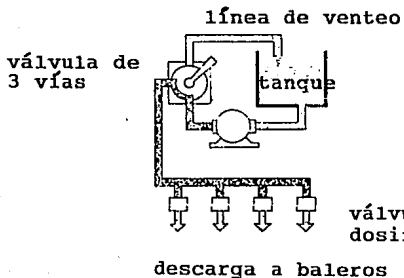


figura 1.16

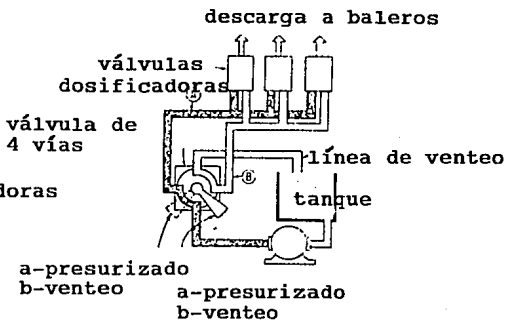


figura 1.17

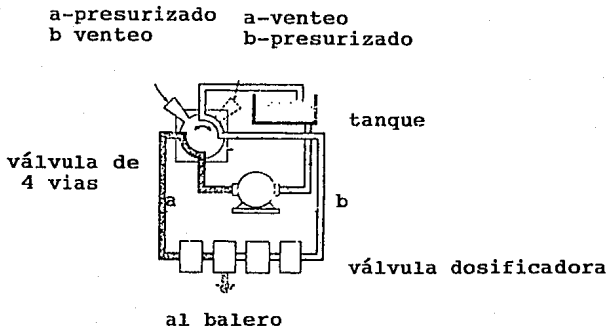


figura 1.18

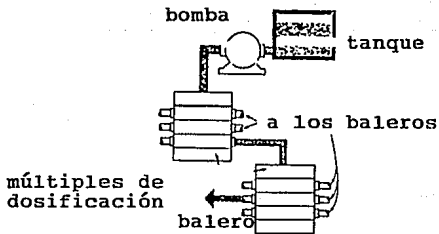


figura 1.19

## Conveniencia del estudio de los sistemas de lubricación por niebla de aceite.

En la parte introductoria mencionamos que cualquier avance que se tenga en la disminución del desgaste de las máquinas será un gran beneficio para aumentar su durabilidad y sobre todo, disminuir los costos de su mantenimiento. Los sistemas de lubricación por niebla no han sido la excepción de estos avances; aunque los sistemas centralizados por recirculación de aceite han sido utilizados por décadas debido a las múltiples ventajas que ofrecen, tales como la eliminación de error humano, ahorro de costos y aumento de la confiabilidad del sistema, entre otras, sus inconveniencias no pueden ser ocultadas por estas ventajas. El riesgo que se tiene por el aumento de temperatura de trabajo, de contaminación del aceite y sobre todo, la pérdida de energía mecánica en los equipos, han sido factores que han impulsado a las personas a fijar su mirada en sistemas de lubricación que busquen eliminarlos. Es aquí en donde entra en el escenario los sistemas a base de niebla.

Este tipo de lubricación ya había sido utilizada desde la década de los 30 para baleros de alta velocidad. A base de estudios serios y de aplicaciones en la industria se vio la factibilidad de estos sistemas. Así, a partir de 1950, su impulso en la industria se vio favorecido, teniendo su "boom" diez años después. La "novedad" que presentaban estos sistemas es que no era necesario utilizar ningún tipo de bombas ni de sistemas de recirculación de flujo; sólo era necesario aplicar un sistema de distribución y aplicar la niebla al equipo sin hacer grandes modificaciones a este. Desde ya algunos años, este tipo de sistemas ha permitido lubricar continuamente numerosos equipos de maquinaria, tales como baleros de cualquier tipo, engranes, cadenas, superficies deslizantes y otros equipos, siendo en la actualidad (1990) el sistema de lubricación más expandido en la industria petroquímica en EUA.

¿ Cómo es posible que después de casi 30 años de aplicación de la lubricación por niebla, no exista en México todavía el interés por dichos sistemas ?. Muchos factores entran en relación para poder dar una respuesta a la pregunta anterior, y podríamos extendernos algunos párrafos para su completa contestación. La experiencia que hemos tenido con la industria mexicana al tratar de diseñar estos sistemas para sus plantas, nos ha llevado a las siguientes conclusiones para responder a lo anterior:

a) No se tiene en México una tendencia hacia la innovación tecnológica, aunque se pruebe que su implementación traerá múltiples beneficios.

b) La información acerca de estos sistemas es de nulo conocimiento para las personas relacionadas a este medio, por lo que su difusión es lenta.

c) Las condiciones económicas de los últimos años no han permitido hacer grandes inversiones a proyectos de innovación.

Basados en los tres puntos anteriores vemos que el trabajo por realizar es bastante y los medios que se tienen son pocos. Necesitamos por lo tanto estar preparados para los cambios que se presentarán en los próximos años y en los cuáles México tiene que estar no solo esperando que la tecnología se le presente, sino que vaya aprendiendo de ella y la empiece a aplicar por si mismo. Sabemos que la tecnología de lubricación a base de niebla, aunque es sencilla, no deja de ser de grandes beneficios tecnológicos y económicos y por lo tanto su estudio resulta de una gran importancia.

Así, empecemos este análisis de los sistemas por niebla entendiendo todos sus componentes y sobre todo su diseño. Tal vez con el paso de los años se descubran otras maneras de evitar el desgaste, ya sea por los mismos métodos ó por la creación de nuevos materiales, y los sistemas de niebla lleguen a ser poco utilizados; puede ser también que en México la implantación de dichos sistemas tenga gran desarrollo y se aprovechen todos sus beneficios. Cualquiera que sea el caso, esperamos que el lector capte la importancia de estos sistemas y sepa después transmitirlos a otras personas interesadas en el tema.

## CAPITULO II

---

## CAPITULO II

### Fenomenología del Proceso de Lubricación por Niebla.

La lubricación por niebla de aceite es un sistema de lubricación centralizado en el cuál la energía de un gas a presión, usualmente aire seco tomado de una línea de servicio de la planta, es usado para atomizar el aceite para luego ser transportado por el mismo aire 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.

#### Generación

El principio de operación de estos sistemas resulta muy sencillo pues se basa en el fenómeno que ocurre al pasar un fluido a través de un venturi. Como recordaremos, y ayudados por la siguiente figura (fig 2.1), cuando un fluido pasa por una obstrucción (en este caso una disminución de área) ocurren dos cambios importantes en las propiedades del fluido en la parte de la obstrucción:

- a) Aumento de su velocidad en relación a la de entrada.
- b) Disminución de la presión en la zona de la boquilla.

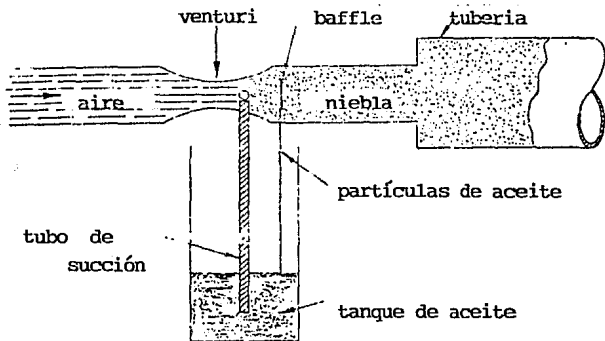


FIGURA 2.1

La manera en que estas variables cambien dependerán de las condiciones que tengamos del fluido a la entrada y se verán



relacionadas directamente con la ecuación de Bernoulli. Ahora, si colocamos dos conexiones flexibles dispuestas a la entrada y salida de la boquilla respectivamente y las conectamos a un recipiente que contenga otro tipo de fluido, la diferencia de presiones que tengamos provocará que el fluido del recipiente sea absorbido en la parte de menor presión (por Bernoulli).

Juntando los dos fenómenos anteriores (los cuales ocurren bajo el mismo principio) tendremos entonces la capacidad de razonar 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 absorbido (por la diferencia de presión) tendrá contacto directo con el aire que lleva una velocidad alta con lo que aquel tenderá a atomizarse, es decir, sus partículas serán de un tamaño muy pequeño. En pocas palabras hemos visto la fenomenología del proceso de niebla el cual, como se dijo antes, es sencillo de entender pero que sin embargo, necesita tener unas cuantas consideraciones:

i) Las propiedades que se tengan de la niebla estarán en relación directa con las del aire y aceite. Es por lo tanto importante tener en cuenta que lo anterior se relaciona con la temperatura del aire y su calidad, así como también con la temperatura del aceite para controlar su viscosidad.

ii) El tamaño de las partículas que se genere de la atomización está en función de la velocidad a la que el aire entre al venturi, siendo lo óptimo que se genere un flujo turbulento para que así se tenga un "choque" del aceite con el aire multidimensional y el tamaño que se obtenga sea del orden de micrones.

iii) La manera de obtener la niebla aunque se basa en el mismo principio, puede variar en la manera de realizarlo pudiendo ser por medio de venturi o por medio de un vórtice. Sobre estos aspectos hablaremos un poco después.

Una vez que hemos entendido como se genera la niebla, cabría lugar a la pregunta ¿ el tamaño de las partículas es siempre el mismo, aún cuando la velocidad del aire y temperatura sea constante ? . La respuesta a la pregunta anterior es un no, puesto que como el aire es multidimensional y su régimen es turbulento entonces no se puede tener un tamaño de partículas de aceite homogéneo. Debido a esto será necesario "filtrar" las partículas de aceite que se generen, haciendo lo anterior por medio de una tapa deflectora o de obstrucción. Así pues, las partículas de un tamaño superior al deseado chocarán con esta placa y se condensarán con lo que caerán de nuevo al recipiente de aceite para luego ser recicladas.

## Métodos de generación.

Como explicamos anteriormente existen 2 metodos principales para la generación de la niebla:

### a) Por medio de un venturi.

Este proceso ya ha sido detallado en forma general en los párrafos anteriores. La cabeza generadora es básicamente un venturi, en donde pasa aire a alta velocidad creando una zona de baja presión, causando que el aceite sea forzado a chocar con el flujo de aire. Cuando el aire se topa con el aceite, este es atomizado en partículas de tamaño micrón (aproximadamente de 1 a 5  $\mu\text{m}$ ). Las partículas de mayor tamaño se fundiran en la tapa de obstrucción y volverán al recipiente de aceite. Un esquema de este tipo de cabezal generador se muestra en la figura 2.2.

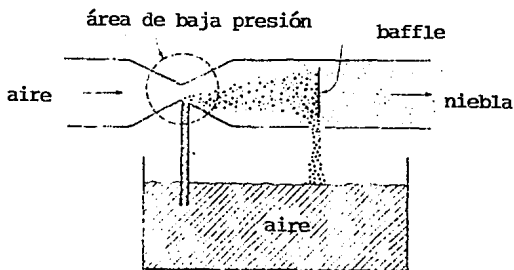
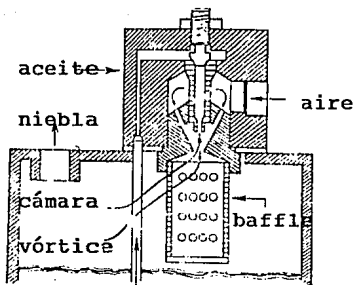


FIGURA 2.2

### b) Por medio de un vórtice.

Este principio es similar al anterior, siendo la diferencia que nuestro venturi tendrá una posición horizontal, por lo que se tendrá cuidado en la manera de posicionar las líneas de los flujos de aire y de aceite. Existen dos maneras de cuidar estas dos líneas de flujo, tal como se muestra en los siguientes dibujos (fig 2.3 a y b). Para la explicación de este método de generación de niebla nos basaremos en la fig 2.3 b.

El aire pasa por medio de un conducto y es llevado a través del vórtice (parte superior) con la ayuda de unos alabes colocados en la tapa del mismo. Estos alabes están fijos y diseñados para que el aire entre en forma tangencial al vórtice y sea después conducido al cuerpo del mismo. Dependiendo de



tanque de  
aceite

figura 1.3 (a)

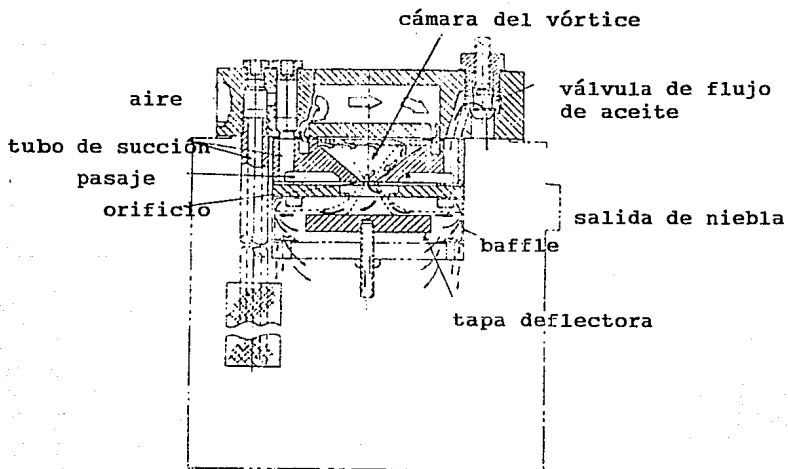


figura 1.3 (b)

las características de la niebla que se desee, será el número de alabes que se diseñen con el cabezal. Por otra parte, se tiene que el flujo de aceite es controlado por medio de una línea que va del recipiente de aceite a la parte inferior del vórtice o cabezal generador; así pues, después de que el aire pasa a través del vórtice, aumentará su velocidad y creará una zona de presión negativa con lo que el aceite será absorbido y entrará radialmente a la boquilla o parte inferior del vórtice. Una vez que choque el aceite con el aire turbulento se crearán las pequeñas partículas de aceite (atomización), con lo que se procederá después a su transportación. Respecto a las partículas de un tamaño mayor al especificado, éstas caeran por su propio peso a la tapa deflectora o de obstrucción, en donde se condensarán y volverán a caer al recipiente o tanque de aceite.

Respecto a estas dos maneras de generar niebla, utilizando un vórtice ó un venturí, se debe mencionar que su elección dependerá de algunos factores importantes que trataremos más adelante, a saber:

- La razón o proporción de aceite respecto al aire.
- El flujo ó volumen de aire que entra al cabezal ó vórtice.
- El flujo de aceite que sea absorbido por la presión negativa.
- La presión que se maneje a la salida del cabezal sin que se afecte el flujo de aceite.

Como se ve estas variables tienen una relación importante en la generación de la niebla. A continuación veremos como se pueden controlar externamente y como afectan la calidad de la niebla así como el consumo de aceite.

### **Control de la niebla**

Dependiendo del tipo de cabezal generador que se tenga serán las dimensiones de los controles que ajustarán las propiedades de la niebla. Se tienen tres controles esenciales:

#### **a) El regulador de la presión de aire.**

Controla el volumen de niebla que es proporcionado a los diversos puntos de lubricación. Este regulador debe ser puesto en tal posición que produzca suficiente flujo de aire a la cabeza generadora o vórtice para que se pueda generar el sifón y así obtener la diferencia de presiones que nos haga que el aceite sea absorbido a la parte inferior del cabezal. Debido a que se tienen diferentes tipos de cabezal según su capacidad ( de lo cuál se hablará en otro capítulo ) los rangos mínimos al

cual se coloca este regulador varían según este tamaño así como también de la altura del recipiente de aceite. Se debe tomar en cuenta que la posición de este regulador será la que nos determine la presión a la cuál estará diseñado el sistema de distribución. Como dato adicional, se ha estandarizado que los rangos que maneje este regulador sean de 35 a 140 kPa, con lo que se obtendrán presiones del sistema de distribución de 5 a 10 kPa, lo cuál es importante de tener en consideración cuando se tenga aplicaciones en donde la velocidad del equipo rotativo sea alta. En la figura 2.4 se muestra un cabezal tipo vórtice en donde se muestra el regulador de aire. Por último, como los cambios en la presión del aire regulado afectan el volumen de la niebla producida, entonces estos cambios influirán en el consumo de aceite lo que va directamente relacionado a nuestros costos.

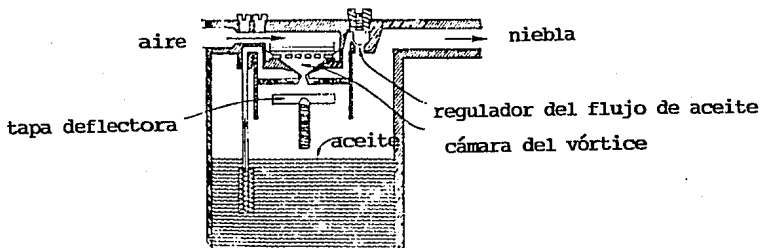


FIGURA 2.4

b) La válvula del flujo de aceite.

Esta válvula controla la densidad de la niebla. Incrementando el flujo de aceite a la cabeza generadora se incrementará 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.

Con la primera de las dos maneras un ajuste en la dirección de las manecillas del reloj incrementará la densidad de la niebla. Con la segunda, un ajuste en la misma dirección que la anterior decrementará la densidad de la misma. Respecto al ajuste de ésta válvula comentaremos lo siguiente:

i) 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.

ii) La razón aceite / aire ó densidad de 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 temperaturas y altas viscosidades del aceite.

En la figura 2.5 se muestra la válvula de flujo de aceite.

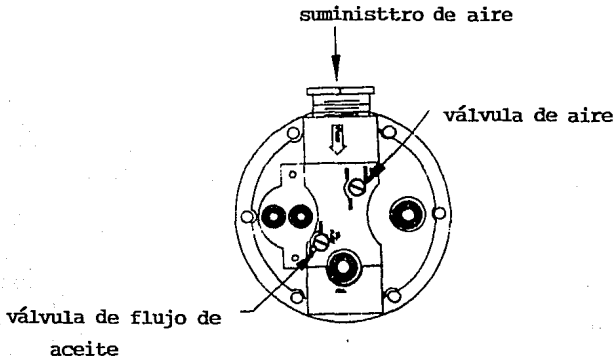


FIGURA 2.5

c) La 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 ( figura 1.6 ) es la cerrada, pero girándola en la posición de las manecillas del reloj se incrementará la cantidad de aire que acompaña a la niebla que es producida por el generador, lo cuál incrementará la presión de la niebla. Otra consecuencia de esta apertura de la válvula será que la velocidad en el sistema de distribución aumentará, por lo que se tendrá que tener cuidado en el diseño del ramal principal para evitar problemas para una buena lubricación en los puntos de interés.

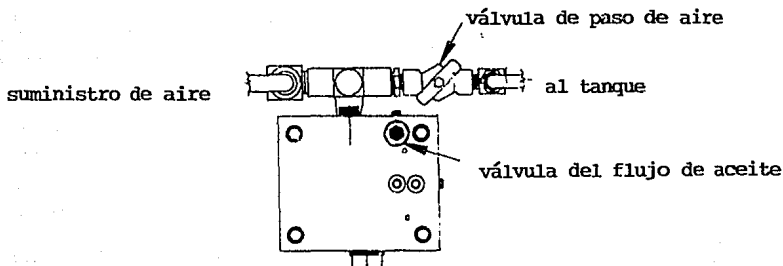


FIGURA 2.6

Hasta este momento hemos visto como se genera y controla la niebla, pero no se ha tocado el punto de la aplicación. La manera de ver lo anterior se hará en este capítulo en forma general puestos que las aplicaciones prácticas se analizarán en otro capítulo. Veamos entonces algunas propiedades de la niebla y los tipos que de ella existen.

#### Tipos de niebla y sus propiedades.

Al referirnos a tipos de niebla no queremos decir que varíen según sus aplicaciones, sino que más bien se refieren 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 generador de la niebla se había dicho que el tamaño de partículas que se obtenía variaba de 1 a 5 micrometros, siendo las partículas de tamaño mayor las que "chocan" con la tapa deflectora y caen al recipiente. Por medio de diversos estudios se ha visto que partículas menores de 3 micrometros no son aptas para la lubricación, o mejor dicho, al lubricar con este tamaño de partículas los resultados que se obtengan no serán los óptimos. A este tipo de niebla se le conoce como niebla seca y aunque se pensara que no sirve para nuestros propósitos estamos en un error: esta niebla nos servirá para ser transportada a los diversos puntos a lubricar y se aprovechará su tamaño para que no se formen condensados en el transcurso de su transportación.

Después de que la niebla ha sido transportada al punto o puntos a lubricar no podemos aplicarla directamente a ese punto por lo que hemos dicho en el párrafo anterior. ¿Qué hacer entonces para aprovechar esa niebla? : si nuestro problema es el de que necesitamos aplicar una niebla con un tamaño de partícula mayor de 3 micrometros para obtener una óptima lubricación, lo más sencillo que se debe realizar es que esas partículas menores de 3  $\mu$ m que han sido transportadas hasta el punto a lubricar deben ser cambiadas o reclasificadas para luego ser aplicadas directamente. La manera de pasar a un tamaño de partícula mayor se hará por medio de un reclasificador y la niebla que se obtenga a partir de este se le llamará niebla húmeda.

Resumiendo lo anterior tenemos que la niebla generada se le llama niebla seca, y luego de ser transportada y reclasificada se le llamará niebla húmeda. La diferencia esencial entre ambas será su tamaño de partícula siendo 3 micrometros el tamaño o frontera limite.

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

- a) La densidad de la niebla que se ha estandarizado como la óptima es la razón de una parte de aceite por doscientas mil partes de aire.
- b) El tamaño estandar de las partículas de aceite es de 3 $\mu$ m dentro de la niebla.
- c) El índice de inflamabilidad es menor al permitido por las normas internacionales definido como 5 mg de aceite por m<sup>3</sup> de aire.
- d) La apariencia externa de la niebla es semejante a la del humo de un cigarrillo.

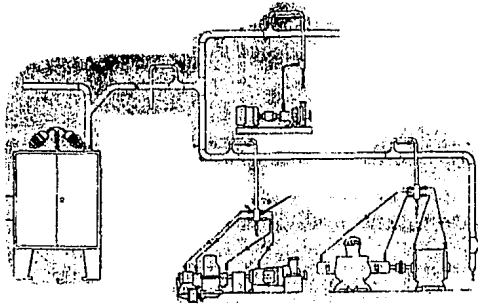
#### **Aplicación de la niebla de aceite : aspectos teóricos.**

Ha través del tiempo se ha cuestionado fuertemente si la aplicación de un baño de niebla tiene mejores resultados que una lubricación clásica de bañado de aceite. Nuestro interés en este apartado es dar una explicación fundamentada, más no exhaustiva, de las ventajas técnicas de este tipo de lubricación.

En la lubricación normal se tienen varios aspectos a considerar para poder decir que se tiene una lubricación efectiva. Entre estos aspectos los más significativos son los relacionados con: la fricción que se tenga entre las superficies a lubricar, el calor generado dentro del equipo por



el proceso de fricción (lo que implica lo relacionado a la transferencia de calor), el desgaste del equipo (vida del mismo) y la eficiencia mecánica que se obtenga. Veamos como la niebla de aceite al ser aplicada mejora los aspectos anteriores analizando el siguiente esquema (figura 2.7) :



Sistema por niebla

Una vez que la niebla ha sido reclasificada es aplicada directamente al punto a lubricar. Así las pequeñas partículas de aceite transportadas por el aire a una velocidad dada chocarán entre sí debido a esta turbulencia y aprovecharán la velocidad de los elementos que van a lubricar para aumentar considerablemente el tamaño de las partículas. Entonces, se creará una capa constante de lubricante que cubrirá todos los elementos móviles y además se tendrá una atmósfera de niebla alrededor de ellos cubriendo todo el espacio posible. Decimos que esa capa es constante en dos sentidos, tanto en su grosor como en su generación (se renueva) ya que la inyección de niebla es un flujo continuo. Para personas relacionadas profundamente con la lubricación o con la tribología (fenómenos de desgaste), el proceso anterior resulta de unas ventajas extraordinarias, y lo trataremos de dar a entender explicando como mejora cada uno de los aspectos que antes mencionábamos:

**Fricción-** si tomamos como base un balero y la capa de aceite que se crea por medio de un bañado por inmersión, la resistencia al movimiento estará relacionada directamente con las propiedades de esa capa. Así pues, un aceite altamente viscoso y en condiciones de operación pesada, creará una capa de alta fricción entre las superficies que trate de evitar el desgaste. Si colocamos ahora un gas en vez de un flujo líquido, la capa que se genere ofrecerá menor resistencia al movimiento debido a las propiedades inherentes del gas respecto

al líquido (viscosidad, coeficiente de transferencia de calor, fuerzas de tensión superficial). En sí este "gas" que se coloca (niebla) tiene partes de aceite que se irán depositando en la superficie de los elementos a lubricar, pero esto se hará de una manera continua y rápida. La ventaja de esto se apreciará de mejor forma en el siguiente aspecto.

**Calor generado-** como la capa de lubricante es un proceso continuo donde se genera, se cubre la superficie y luego se cambia por otra capa, el calor que se genere por la fricción entre las superficies y la niebla, será conducido por esta misma y desalojado del equipo. Con esto se tiene una ventaja respecto al lubricar en forma convencional debido a que, si se tiene un baño de aceite, el calor que se genere no es transportado fuera del equipo, sino que se concentra en el mismo por lo que la temperatura de trabajo empieza a aumentar, con los problemas inherentes en cambio de viscosidad del aceite o cambio de las propiedades del grasa (si se utiliza ésta).

**Desgaste del equipo-** la vida del equipo aumenta en forma considerable debido a que el desgaste entre las superficies se minimiza al tener una capa de lubricante de espesor constante. En una lubricación normal, la capa de lubricante que se tiene no es constante (se crea un perfil que es función de las condiciones de trabajo) y además existen periodos en donde no todas las superficies están lubricadas. El desgaste que se tiene en estas superficies tiende por lo tanto a aumentar paulatinamente hasta su fractura total. Al utilizar la capa de aceite de niebla, el desgaste tiende a ser mínimo, pero no se elimina por completo, puesto que no existe hasta el momento elementos que tengan una vida infinita aún bajo condiciones de trabajo mínimo. Con esto se quiere dar a entender que la aplicación de niebla de aceite es recomendable pero no se quiere decir que eliminará todas las fallas por uso o vida del equipo.

**Eficiencia Mecánica.-** mientras las pérdidas en la transmisión de energía se conserven mínimas, la eficiencia de los equipos y su confiabilidad aumentará. Esto es el punto principal que se busca al diseñar cualquier equipo. En lo referente a los aspectos de lubricación se ha comprobado que una lubricación por aceite, debida a la misma fricción y estancamiento del aceite, será menos eficiente que una lubricación por niebla, la cuál es de baja fricción y de ciclo continuo (no confundir con ciclo cerrado).

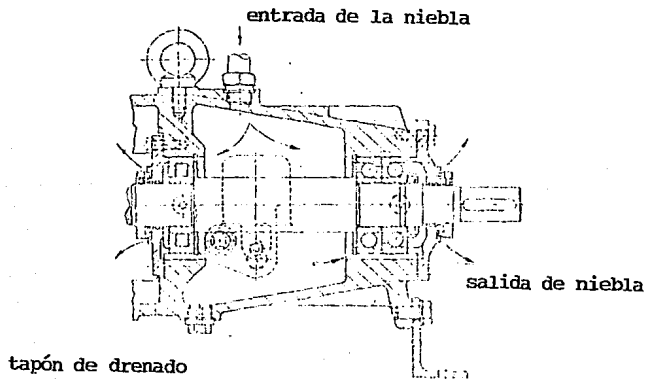
Bajo de estos aspectos se ha tratado de explicar el porque la aplicación de la niebla de aceite resulta técnicamente superior en varias aplicaciones con respecto a la lubricación por aceite o grasa, aunque no se trata de remarcar que todo el equipo que pueda sufrir desgaste deba ser lubricado con niebla de aceite. Cada aplicación deberá ser estudiada para ver la

factibilidad del uso de la niebla o no, buscando siempre el mejor funcionamiento del equipo y su máximo aprovechamiento.

### Eliminación de la niebla

Una vez que se ha lubricado el equipo o elementos sujetos a desgaste es necesario eliminar la niebla de aceite de ellos para tener un ciclo continuo. En este instante debemos de pensar un poco lo que ha pasado con la niebla:

Como la niebla húmeda empieza a lubricar al ser inyectada, partículas de aceite empiezan a chocar entre sí y forman una capa. Conforme vayan lubricando, esas gotas por la misma acción del movimiento del equipo y su gravedad tenderán a caer en la parte inferior del equipo y serán recolectadas después (en una botella de drenado). Sin embargo, nuestra niebla a la entrada consistía de una mezcla de aceite-aire: ¿en donde se ha eliminado el aire?. Es necesario que el aire sea eliminado del equipo a lubricar (generalmente tienen partes cerradas) porque si no lo hicieramos, la presión que se generaría al seguir inyectando la niebla iría en aumento y provocaría fallas en los equipos. Es esta la razón de tener líneas de salida del aire (y en pequeña proporción de la niebla) llamadas venteos. El diseño de estos venteos se hace junto con el estudio de la aplicación de la niebla de aceite, ya que si no se tiene la posibilidad de hacerlos se desecha la idea de lubricar por niebla. Se ha tomado como regla tener un área de venteo mínima igual a dos veces el área del reclasificador por donde se inyecte el flujo de niebla. Un ejemplo de venteo se muestra a continuación en la figura 2.8.



## CAPITULO III

---

### CAPITULO III

#### **Descripción general de los sistemas de lubricación por niebla: elementos principales.**

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

#### **Componentes básicos del sistema.**

- a) Una fuente de aire a presión, seguida por un secador de aire o calentador.
- b) Un filtro en la línea de aire para asegurar que el flujo de aire que llegue a la cabeza generadora esté limpio de impurezas.
- c) Un regulador de la presión de aire para controlar la niebla de aceite generada.
- d) Un generador de niebla de aceite, el cual puede ser un venturí o vórtice generador, un tubo conector, un tanque de almacenamiento y un tornillo para ajustar el flujo de aceite.
- e) Un sistema de distribución para llevar la niebla generada a los puntos de aplicación.
- f) Los reclasificadores (según el tipo necesario) para convertir la niebla seca en niebla húmeda.
- g) Un manómetro para la medición de la presión en el sistema de distribución.

#### **Esquema general del sistema**

Apoyados en el siguiente esquema daremos una visión de lo que es el sistema de lubricación por niebla, explicando brevemente cada parte que lo constituye.

#### **Descripción:**

- 1.- **Consola** .- es el principio de la niebla de aceite. Incluye al generador y a todos los controles para su funcionamiento.
- 2.- **Unidad de respaldo**.- es una unidad generadora de niebla en paralelo que solamente contiene lo indispensable para generar

la niebla. Esta unidad puede ser utilizada cuando la consola principal o primaria no pueda funcionar.

**3.- Cabezal generador.-** es en donde se produce la niebla. Está colocado dentro de la consola junto al tanque de reserva. El aire se acelera a través de él causando que el aceite sea absorbido del tanque y sea atomizado en finas partículas.

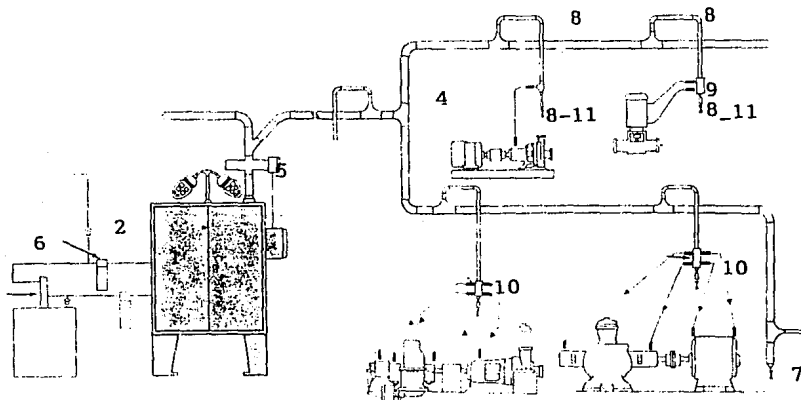


FIGURA 3.1

**4.- Sistema de distribución.-** es una red de tubería y accesorios a través del cuál la niebla es trasportada desde la consola, en donde es generada, hacia el punto de aplicación.

**5.- Manómetro del sistema de distribución.-** nos indica la presión dentro del sistema (presión de niebla). Generalmente se estandariza en 0.72 psi.

**6.- Regulador de la presión de aire.-** establece la presión del aire necesaria para que se pueda generar la niebla y produzca además la presión del sistema de distribución a 0.72 psi.

**7.- Drain leg.-** accesorio de tubería del mismo diámetro que el ramal principal y que colecta al aceite que se condensa en éste pero que no puede ser drenado hacia el generador. Se coloca en puntos terminales de la red de distribución en una posición vertical.

**8.- Drop point.-** accesorio de tubería que es de tamaño menor al diámetro del ramal principal. Es una "t" colocada verticalmente hacia arriba y que conecta después directamente hacia el punto

de aplicación (múltiple). Según el número de equipos a lubricar será el número de "t" que tengamos que colocar.

**9.- Múltiple.-** accesorio rectangular que tiene de 4 a 6 orificios barrenados en las caras opuestas. Después de que se tenga una "t" en el ramal se tendrá tubería de menor diámetro que cambiará la posición de salida para tenerla dirigida hacia abajo. En este punto es donde se colocará el múltiple.

**10.- Reclasificadores.-** estos accesorios son básicamente conductos que cambian de sección bruscamente y convierten la niebla seca en niebla húmeda. Los reclasificadores son colocados en los múltiples. Cada punto a lubricar debe contener a lo menos un reclasificador.

**11.- Snap Drain.-** son aquellos puntos en los que se drenan las partículas condensadas de aceite ya sea de un múltiple, de una caja de baleros ó punto de aplicación y de un "drain leg".

**12.- Botella de drenado .-** es un accesorio de plástico usado generalmente abajo de una caja de baleros y múltiple para colectar el aceite que se ha condensado. Generalmente tienen un orificio a cierto nivel para que el aceite escurra y no aumente el nivel deseado (si es que no se vacía la botella periódicamente).

**13.- Puntos de lubricación.-** son todos aquellos equipos en donde la aplicación de la niebla es conveniente. La manera de aplicar la niebla dependerá de las características del equipo.

**14.- Sistema de drenado.-** todos aquellos accesorios que se utilizan para colectar el aceite: botellas de drenado y tuberías para equipos de difícil acceso para la colocación de la botella de dren.

Como se observa, un sistema de lubricación por niebla requiere de muy pocos aditamentos para su funcionamiento, siendo lo principal de su diseño seleccionar de manera adecuada el cabezal generador y el sistema de distribución. Se puede complicar o no el esquema de estos sistemas, siendo la base principal lo que hemos señalado en el esquema anterior; sin embargo se pueden colocar algunos accesorios para completar el esquema, tales como:

- Una válvula de paso de la línea de aire hacia el cabezal generador.

- Un calentador del aceite para mantener a este dentro del recipiente a cierta temperatura y controlar su viscosidad.

- Un calentador de aire para estabilizar la densidad de la niebla a diferentes temperaturas del medio ambiente o para

poder atomizar aceites de alta viscosidad que a condiciones de temperatura ambiente no podrían hacerlo.

- Un llenado automático del tanque de aceite de la consola para cuando se tenga un nivel bajo del mismo en ella.

- Una unidad de detección que marque la densidad de la niebla dentro de límites establecidos (máximo y mínimo).

Todos estos accesorios dependerán de las condiciones de trabajo del sistema a diseñar, de las condiciones del medio ambiente y también de lo que se quiera invertir en el diseño.



## CAPITULO IV

---

## CAPITULO IV

### Detalles de diseño y criterios de selección de los elementos principales

En este capítulo se tratarán a detalle los requerimientos mínimos para la selección y diseño de los elementos componentes del sistema de lubricación por niebla. Los aspectos de funcionamiento no se repetirán debido a que ya han sido explicados en los capítulos anteriores. Así pues empezemos nuestro estudio para la selección apropiada de un sistema de lubricación por niebla (nota: en lo referente a tamaño del cabezal y selección de reclasificadores se explicará en el capítulo VI)

#### Unidad generadora de niebla.

La cabeza del generador será determinada por el número y tamaño de los reclasificadores usados en el sistema. Un cabezal generador de niebla debe ser seleccionado para proporcionar la cantidad de niebla necesaria más un 25%. Para detalles de calibración del sistema ver el capítulo VIII.

Cada consola generadora deberá contener lo siguiente:

- 1.-Un regulador de flujo de aceite para controlar la densidad de la niebla.
- 2.- Un manómetro para observar la presión del sistema de distribución.
- 3.-Una válvula de inspección de la niebla.

El sistema de suministro de aceite tendrá como mínimo:

- 1.-Una línea de conexión hacia el tanque de suministro, una válvula de cierre y un manómetro para controlar la presión del suministro de aceite.
- 2.-Un filtro de aceite de 10 um.
- 3.-Un tanque de suministro diseñado para proporcionar un servicio mínimo de 72 hrs. sin necesidad de estarlo alimentando externamente. Este tanque de suministro tendrá los siguientes componentes:

- a) Una botella transparente para comprobar el nivel de aceite.
- b) Una válvula de alivio para la presión (colocada a 5 psig).
- c) Un nivel mínimo de aceite en donde pueda ser drenado.
- d) Un controlador del nivel de aceite y un mecanismo para mantener el nivel de aceite dentro de los

rangos establecidos.

e) Un medidor de la temperatura de aceite.

f) Un calentador de aceite con una potencia máxima de 10 Watts / pulgada cuadrada con un controlador automático de corte de energía al existir un sobrecalentamiento.

g) Sensor de la temperatura de aceite y controles para mantener una temperatura constante en el aceite.

4.- El aire deberá ser suministrado desde las líneas de servicio en todos los casos posibles. La consola generadora deberá contener:

a) Una válvula de cierre de aire y un manómetro para medir la presión de la línea (de 0 a 160 psi).

b) Un filtro de aire y separador de polvos con autodrenado el cual es canalizado (por tubería) hacia un dren.

c) Un regulador de la presión de aire con manómetro.

d) Un calentador del aire de suministro, un sensor de la temperatura del aire, un control automático de la temperatura y mecanismo de corte de potencia si existiera un sobrecalentamiento.

e) La instrumentación para cada consola generadora deberá de ser:

i) Sensores y alarmas para niveles bajo y alto de:

- Temperatura del aire de suministro.
- Temperatura del aceite del tanque.
- Presión del sistema de distribución.
- Nivel del aceite en el tanque.

ii) Una luz roja de mal funcionamiento y una verde de operación normal montadas en la parte superior de la consola.

iii) Señalización de alarmas individuales para indicar mal funcionamiento de cada variable.

iv) Señal de alarma remota para indicar falla en el suministro de potencia o fallas en alguna de las variables controladas.

f) Cada consola generadora deberá tener una unidad de respaldo con las siguientes características:

i) Una capacidad generadora igual a la de la consola principal.

ii) Deberá estar colocada junto a la consola principal conectada en paralelo y cubierta con protección de acero.

iii) Un regulador de presión, un tanque de aceite (con 24 hrs de servicio como reserva),

una cabeza generadora de niebla y una válvula de alivio (colocada a 5 psig).

iv) La instrumentación mínima deberá ser un tubo de nivel de aceite y un manómetro para medir la presión del sistema de distribución. Cuando la unidad de niebla de aceite sea usada en climas fríos (temperaturas menores a los 10 F), un calentador de aceite deberá ser utilizado para esta unidad de respaldo.

### **Sistema de reserva de aceite.**

Para sistemas de niebla que lubricarán demasiado equipo es necesario tener un sistema de reserva de aceite para no tener problemas de llenado del tanque de la consola. Así pues, el sistema más deseable para cumplir con lo anterior es el de suministro central de aceite, el cual provee la mayor seguridad para que los contaminantes no penetren en el tanque. Otra opción que se tiene es la del tanque reserva, el cuál puede ser colocado al lado de la consola generadora suministrando, por medio de una bomba y controles, un aceite limpio y libre de impurezas.

Si el sistema del que estamos tratando es pequeño (poco equipo a lubricar), puede ser aceptable colocar un tanque pequeño y estarlo llenando manualmente. En esta opción debe tenerse cuidado en la manera de llenar el tanque ya que al hacerlo se puede contaminar el aceite debido a las impurezas del medio ambiente. Se recomienda por lo tanto, tener al recipiente cubierto y que tenga una tapa que selle perfectamente al tanque.

Los sistemas manuales de llenado son totalmente inaceptables por el alto riesgo que implica la contaminación de aceite y los problemas que acarreará esto a las propiedades de la niebla generada. Así, se tomará como regla de apoyo lo siguiente:

- Se tendrá un sistema de llenado de aceite con un tanque de 120 galones, accionado con una bomba de aire y con un indicador de nivel y señal de alarma para nivel mínimo. El tanque será de acero galvanizado y deberá tener un punto de drenado a cierto nivel conectado hacia una válvula.-

### **Sistema de distribución.**

Esta sección se relaciona hacia todos los puntos en donde la niebla deberá ser transportada y aplicada. Su diseño es importante, ya que de este dependerá en gran medida el correcto funcionamiento del sistema.

## Tamaño de la tubería y pendiente.

Dar la pendiente mínima requerida a la tubería es importante porque cuando la niebla de aceite es transportada a través de la tubería, parte de las partículas de la niebla chocan entre sí y aumentan de tamaño, por lo que se van acumulando dentro de la misma. Si la razón aceite / aire es mas o menos alta, la cantidad de aceite que se condensará será grande. Si la tubería es colocada con una pequeña pendiente que no este dirigida hacia la consola, la niebla condensada será colectada en un "drain leg". Cuando esto sucede el consumo aparente de aceite tiende a ser superior, por lo que el porcentaje de aceite usado es más pequeño siendo aprovechado solo el aceite que vá hacia los equipos.

Por otro lado, si pendiente de la tubería es colocada hacia la consola, el líquido que se va acumulando en la tubería es drenado hacia el tanque de aceite. Entonces, el porcentaje de aceite usado será mayor porque existe una recirculación del aceite que se condensa y que no es utilizado en los equipos.

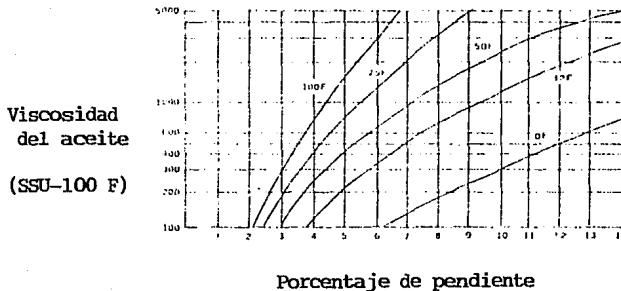
Si la tubería no tuviese una pendiente el líquido que se acumula en ella podría obstruir el flujo de la niebla y ocasionar algunos problemas. Aún así, si la tubería se inclina hacia un "drain leg" los problemas pueden ser mayores si no se tiene cuidado. Uno de estos problemas resulta cuando el "drain leg" no es drenado frecuentemente. Cuando sucede esto, la tubería se empezará a llenar con aceite y retardará el flujo de niebla. Esto es una razón por lo que la tubería debe ser inclinada hacia la consola todas las ocasiones en que sea posible. Esto explica también porque todos los ramales secundarios deben ser inclinados hacia el ramal principal.

Respecto al tamaño de la tubería, a menos que sea especificada otra cosa, toda la tubería deberá ser de acero galvanizada y roscada, con una cédula de número 40; en lo referente a los "tubing" estos serán de la serie 300 de acero inoxidable.

La pendiente de la tubería tendrá porcentajes estandarizados que dependerán esencialmente de la viscosidad del aceite y de la temperatura ambiente donde se coloque el sistema. Las siguientes tablas dan la relación de estas pendientes (tabla 4.1 y 4.2).

Resulta a veces conveniente tener una regla de cuál debe ser la pendiente idónea. Si no se tienen otros datos y se utiliza un aceite que cumpla con las normas especificadas en este libro, la razón de la pendiente hacia el cabezal será de 1 pulgada por 20 pies cuando sea posible. Si existen obstrucciones de tubería de otros servicios ó la colocación del equipo no permite dicha pendiente, la tubería que no pueda ser

dirigida hacia la consola deberá dirigirse (la pendiente) hacia un "drain leg".



viscosidad (ssu)	temperatura del ambiente				
	0°F	32°F	50°F	75°F	100°F
100	5.3	3.7	3.0	2.4	2.1
100	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

TABLAS 4.1 Y 4.2

Todos los ramales principales y secundarios deberán ser de 2 pulgadas de diámetro nominal, y las "T" o drop point de 3/4 de pulgada. Ambos deberán estar con una pendiente dirigida hacia el ramal que se dirige hacia la consola tomando, otra vez, como una regla general la pendiente de 1 pulgada por cada 20 pies.

Si los ramales deben tener la pendiente dirigida hacia un drain leg la pendiente que se tomará será de 1 pulgada por cada 40 pies, lo que también será considerado para cada drop point

hacia el equipo en caso de tener obstrucciones. Todos los ramales secundarios deberán partir de la parte superior del ramal principal siguiendo las mismas reglas que los drop points. Al hacer lo anterior se persiguen dos fines: el sistema drenará los condensados hacia la consola y se asegura que sólo la niebla de aceite y no aceite líquido está siendo entregado al equipo o puntos a lubricar. Además esto evita problemas de que los reclasificadores se puedan tapar en climas bastante fríos por la viscosidad del aceite.

### **Válvulas de bloqueo.**

Este tipo de válvulas no debe ser utilizada en ninguna tubería que parta o esté en el ramal conector o principal. La razón de lo anterior es que puede provocar la obstrucción del flujo una vez que se haya cerrado para la modificación del sistema ó algún cambio de equipo. Si se desea cambiar de equipo para su reparación, lo que se tiene que realizar es cancelar el flujo de niebla hacia ese equipo determinado y no tapar el flujo hacia todo el sistema. La manera de realizar esto es desconectar la tubería que va del reclasificador al punto de lubricación y dirigirla hacia arriba sin necesidad de tapar esa línea. La niebla que se aplica a ese equipo fluirá hacia el medio ambiente y escapará, lo que no provocará ningún problema puesto que los límites de flamabilidad de esta niebla son mínimos.

### **Conexiones**

Se recomienda utilizar "Tes" en vez de coples para tener acceso al sistema de distribución ya que si se decide aumentar el número de equipo a lubricar, las "tes" facilitarán el nuevo tendido; además los coples tenderán a almacenar el aceite que se forme en la tubería con pendiente hacia ellos. Otro aspecto en contra de los coples es que estos requerirán, para las nuevas instalaciones, cortar la tubería existente en la zona deseada y hacer modificaciones a la unión ó drain leg que se tenga.

### **Drain leg.**

Un drain leg es simplemente una sección vertical de tubería que termina en una válvula de drenado. Así, el aceite condensado puede ser drenado periódicamente y los problemas de aumento de nivel de aceite serán eliminados.

Como se hizo notar antes, los drain leg no deben ser utilizados a menos que sea absolutamente necesario, debido a que pueden acarrear muchos problemas. Sin embargo, si debido a las circunstancias del tendido es necesario utilizarlos, deberán ser diseñados de acuerdo a la siguiente especificación:

a) Deberán ser del mismo diámetro que el del ramal principal y terminar a una altura entre 18 y 24 pulgadas arriba del suelo.

b) Deberá tener un calibrador de aceite entre 0 y 60 pulgadas de agua, un reclasificador y una válvula de drenado. Una válvula de obstrucción también deberá ser instalada para permitir cambiar el calibrador de presión.

Como una regla de mantenimiento preventivo, los drain leg deben ser drenados a intervalos de tiempo cortos. Es buena práctica hacer en estos dispositivos un orificio a cierto nivel para evitar la sobreacumulación de aceite en el ramal principal.

#### Drop point.

Las pequeñas líneas de tubería que se originan ya sea en la parte alta ó baja del ramal principal ó secundario es llamado drop point. Existen dos métodos principales para el terminado de los drop point, los cuáles se muestran en la figura 4.1.

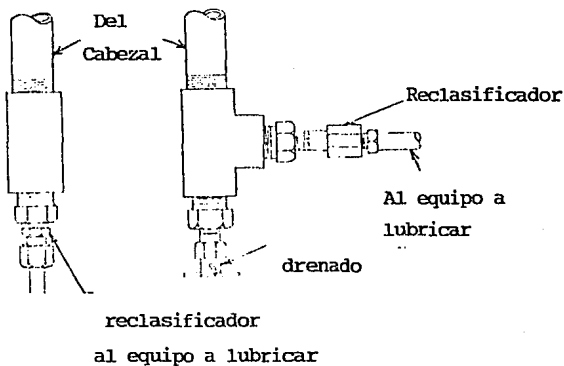


FIGURA 4.1

Se debe notar que en estas figuras se toma como hecho que sólo se quiere lubricar un punto y por lo tanto se coloca una "T" o un reductor. En caso de necesitar más puntos a lubricar se deberá colocar un múltiple.

El mayor problema que se tiene con los drop point



colocados en una rama de tendido de la tubería, es que el aceite puede acumularse en esa rama y tapan el flujo de niebla. Para prevenir esto se deben colocar unos pequeños drain leg en cada rama. Esto no complica demasiado el sistema y por lo tanto debe estar considerado dentro del diseño. Como diseño general de estos puntos se deben cumplir las siguientes especificaciones:

- a) Los drop point deben terminar no menos que a dos pies y no a mas de cuatro pies arriba del nivel del equipo a lubricar. Deben estar colocados visiblemente y no deben impedir el acceso al equipo o interferir cuando tenga que ser cambiado o se tenga que instalar nuevo equipo.
- b) En caso de utilizar drop points en ramales, se deberá cumplir con lo especificado en el primer parrafo de este apartado.
- c) El tamaño estandar que se manejará será de 3/4 de pulgada con una pendiente dirigida hacia el ramal principal ó secundario a una razón de 1 pulgada por cada 20 pies.

### **Múltiples.**

Todos los drop point deberán terminar en algún tipo de múltiple. Este puede ser ya sea una simple "T" sí sólo se va a utilizar un reclasificador ó puede ser un bloque rectangular de latón ó acero en el cuál se tengan orificios barrenados en caras opuestas del mismo. En cada uno de estos barrenos se colocarán los reclasificadores en el número deseado según sean los puntos a lubricar.

Todos los múltiples que se utilicen deberán estar equipados con una válvula que permita drenar el aceite que se acumule en ellos. El tipo de válvula que se seleccione podrá ser de resorte, de escape u otro tipo de válvula pequeña.

### **Reclasificadores**

En la parte introductoria se dijo que un reclasificador cumplía con las dos funciones siguientes:

- a) Convertir la niebla seca a niebla húmeda.
- b) Dosificar la cantidad necesaria y exacta de niebla de aceite para el punto a lubricar.

Para los diversos tipos de lubricación se han estandarizado tres tipos diferentes de reclasificadores:

- a) De niebla.
- b) De condensación o goteo.
- c) Tipo Spray.

Las aplicaciones y características de cada uno las mencionaremos en este apartado un poco más adelante; por ahora empecemos a ver que es en sí un reclasificador.

Un reclasificador es un accesorio en donde el cual a través de una disminución de la sección transversal se crea una turbulencia, lo que provoca que las partículas de aceite que están dentro del aire choquen entre sí y aumenten de tamaño. Independientemente del tipo de reclasificador, la razón de flujo a través de estos reclasificadores será determinada por las dimensiones de los pequeños orificios del reclasificador, de la longitud del mismo y por supuesto, de la presión que se esté manejando en la niebla. El principio de operación de estos reclasificadores se describe a continuación y es un resumen de lo que hemos dicho hasta ahora:

-Bajo condiciones de flujo laminar, siendo éste el régimen en el cuál debe estar diseñado nuestro sistema de lubricación, algunas partículas de aceite colisionan con otras ó con las paredes de los reclasificadores con una fuerza suficiente para adherirse a éstas. Si el flujo de la niebla se hace verdaderamente turbulento, el número de colisiones aumentará considerablemente, produciendo que las partículas aumenten de tamaño y se formen gotas de aceite, las cuáles serán depositadas en las superficies que hagan contacto. La manera de lubricar dependerá entonces de como se aplique el reclasificador y la dirección en que se diseñe y coloque.-

Los reclasificadores consisten de un pequeño orificio de diámetro pequeño, que es el lugar en donde tendrá lugar la turbulencia. Para propósitos prácticos los reclasificadores pueden ser considerados como unos medidores del flujo de niebla, sin que cambien las características de ésta. Deben ser utilizados para lubricar baleros 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 baño del 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 como tope mínimo 5 metros por segundo.

La mayoría de los reclasificadores provocan un gran flujo turbulento y lo mantienen la suficiente distancia para que el número de partículas que colisionen sea mayor y lo hagan a una

gran velocidad. Algunos reclasificadores incorporan tapas de obstrucción para mejorar esta turbulencia y por lo tanto, el número de colisiones. Los reclasificadores tipo spray mandan el aceite a las superficies como pequeñas partículas de aceite. La manera de provocar la turbulencia es pasando la niebla 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 se aumente la turbulencia. Por lo que se refiere a los reclasificadores por goteo o condensación, éstos incluyen generalmente 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 demasiado larga, por lo que la velocidad de salida del aceite al final del reclasificador será mínima y se podrá lubricar a la superficie eficientemente (por lo común superficies deslizantes).



FIGURA 4.3

Como regla general se debe de seleccionar al reclasificador de menor tamaño que nos proporcione la cantidad requerida de lubricante. Sobre los aspectos de selección del reclasificador se hablará en el capítulo VI.

### Reclasificadores de alta eficiencia

Tal como los reclasificadores anteriores, los de alta eficiencia se caracterizan por:

- a) Crear una niebla húmeda por la colisión de partículas extremadamente pequeñas para formar partículas de mayor tamaño, las cuáles serán idóneas para la lubricación.
- b) Proporcionar la cantidad requerida de flujo necesario para cada punto en particular.
- c) Mantener una presión constante en la línea de suministro de la niebla.

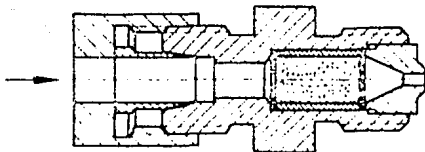


FIGURA 4.3

Este tipo de reclasificadores incorporan un pequeño comportamiento de pequeños pellets de metal, lo que provocó que la trayectoria de las partículas tenga más obstáculos a su paso por el reclasificador. En el proceso, la niebla de aceite forma una película sobre los pellets, la cuál es después "tomada" por el aire y dirigida hacia la superficie a lubricar como una niebla fina de aceite.

Con lo anterior, se asegura que el 99% de la niebla de aceite es reclasificada en gotas y la niebla de fuga es eliminada. Con esto se tienen las siguientes ventajas:

- Se pueden lubricar hasta un 40 % más de puntos requeridos en comparación con los reclasificadores normales.
- El consumo de aire se decrementa considerablemente.
- Menor contaminación al medio ambiente.

Para manejar estos reclasificadores se debe tener una presión en el sistema de 7.5 a 16.3 kPa. Aunque esta presión es mayor que la que se utiliza en los sistemas con reclasificadores convencionales, es posible en algunas ocasiones, utilizar en el mismo sistema tanto reclasificadores convencionales con reclasificadores de alta eficiencia. Para esto se tendrá en consideración que la presión que deberá ser utilizada en el sistema, será del reclasificador de alta eficiencia, por lo que los otros reclasificadores al seleccionarse, deberán cumplir con las condiciones de esa presión.

Entendido el funcionamiento de los reclasificadores veamos en donde son aplicables estos aditamentos, (el procedimiento de selección de los reclasificadores se verá en el capítulo referente a los cálculos del sistema), en lo diferentes puntos a lubricar:

a) Reclasificadores por niebla .- estos son utilizados para diversos tipos de baleros (de bolas, de rodillos, etc) cuya carga sea moderada y tengan una velocidad lineal mayor de 5 m/s. Son el tipo de reclasificadores de mayor uso en la industria por lo que sus usos se han estandarizado como se verá en la sección de cálculos.

b) Reclasificadores tipo spray .- son utilizados para lubricar equipos no deslizantes y su ciclo de trabajo sea continuo. Ejemplo de estos equipos son las cadenas, engranes, y algunos sistemas de transmisión de potencia.

c) Reclasificadores de condensación .- principalmente utilizados en equipo deslizante, tales como algunas levas, superficies en contacto en algunas máquinas, chumaceras y algunas superficies autolubricadas.

d) Reclasificadores de alta eficiencia.- este tipo de accesorios son utilizados cuando se requiere que el porcentaje de niebla no utilizado (es decir, que escapa) sea mínimo para así tener una lubricación más efectiva. Debido a la alta turbulencia que generan su aplicación se basa a los mismos equipos mencionados para reclasificadores tipo spray.

En este capítulo se ha visto el funcionamiento detallado y los criterios de selección aplicables para cada elemento. Sin embargo es necesario todavía ver dos aspectos principales: ¿ cómo debemos aplicar la niebla ? y ¿ cuál es el mecanismo por medio del cual aseguro una aplicación idónea para cada punto en particular ?. La respuesta a la primera pregunta se refiere a la manera de utilizar la niebla, mientras que la segunda toca el aspecto del diseño de la adaptación del equipo al aplicar la niebla (respiración del aire y recolección del aceite utilizado). Las respuestas completas a los dos puntos anteriores se responderán en el siguiente capítulo.

## CAPITULO V

---

## CAPITULO V

### Aplicación de la niebla: tipos y maneras de adaptación del equipo a lubricar.

#### Tipos de aplicación.

En el capítulo anterior observamos que la aplicación de este tipo de lubricación por niebla tiene usos en variados equipos. Por motivos de análisis dividiremos estas 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, caja de engranes, etc).
- b) Aplicaciones donde sea necesario aplicar reclasificadores tipo spray ó por goteo. Los equipos referentes a esta aplicación no tienen secciones cerradas: cadenas, superficies deslizantes, levas, etc.

Otra manera de haber dividido las aplicaciones podría haber sido por medio de la velocidad y carga a que sea sometido el equipo, pero por razones de facilidad nos enfocaremos a la división anterior.

Referente al segundo tipo de aplicación, esto no reviste mayor problema, puesto que una vez seleccionado el reclasificador necesario, lo único que restará por hacer será utilizar adecuadamente éste (esto es, en que dirección se debe aplicar el reclasificador y el número de éstos que se deben emplear). Para detalles relativos a los cálculos de estas aplicaciones ver el capítulo VI.

Para analizar el primer tipo de aplicación nos basaremos en el análisis de la lubricación de un bomba. Esto se hace por dos razones: la primera consiste en que este ejemplo es el más socorrido en la bibliografía y la otra razón es que cuando se desee aplicar la niebla a otro equipo las modificaciones que se tienen que realizar son mínimas. Veamos pues este tipo de aplicación.

En la figura 5.1 se muestra una bomba lubricada por bañado de aceite. En ella, la caja de baleros se llena hasta el punto medio de la bola de rodamiento más bajo. Este nivel de aceite se mantiene mediante una aceitera de nivel constante que se adhiere a la caja. El anillo para eslinga o el disco de lubricación transporta el lubricante del colector de aceite a los rodamientos y flecha. Respecto a este tipo de lubricación se tienen los siguientes comentarios:

- Se aprovecha el movimiento de la flecha para lubricar los rodamientos por medio del anillo de eslinga. Es decir, no se tiene una lubricación continua, a menos de que el equipo esté trabajando.

- Al irse lubricando el equipo, se forma una capa de lubricante alrededor de éste, lo que provocará que la fricción tenga un valor aproximadamente constante.

- Debido a los dos puntos anteriores, la temperatura en la caja de baleros aumentará hasta llegar a una temperatura límite, la cuál se alcanzará al tener la capacidad de trabajo estándar.

- La vida del aceite y sus propiedades disminuirán a una rapidez que será factor del nivel de trabajo que se tenga en el equipo. Esto es debido a que el aceite está en una sección cerrada y no es recirculado. Entonces, al estarse lubricando el equipo el aceite se irá deteriorando por las impurezas que resulten del desgaste de las partes móviles, razón por lo cual los aditamentos con que algunos aceites van acompañados vayan perdiendo sus propiedades. De esto se desprende que se tenga que cambiar el aceite a períodos de tiempo establecidos, los cuáles variarían del uso del equipo como se dijo antes.

- Se tienen algunas fugas de aceite no deseadas, con lo que el consumo de este aumenta y las fallas por una pobre lubricación pueden sucederse continuamente. Se requiere que se revise continuamente el nivel de aceite para tener un nivel mínimo de lubricante y evitar estas fallas.

Analizemos ahora como es posible aplicar la lubricación por niebla a esta caja de baleros de la bomba.

### **Lubricación por inmersión en seco ó niebla pura.**

En este tipo de lubricación se necesita 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, el anillo de eslinga ó disco de lubricación se retira, así como también la aceitera de nivel constante, poniéndose en su lugar una botella de dren. El propósito de ésta botella es el de juntar todo el aceite (de la niebla) que haya sido utilizado y vaciarlo periódicamente. Lo único que falta por realizar es inyectar la niebla a través del barreno que se utiliza comúnmente para el llenado de la caja. La niebla que se inyecta es neblina reclasificada y lubrica en forma continua al equipo rotativo y cubre por completo la caja de baleros. Algunas características de esta lubricación son:

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



- a) La capa de aceite que se forme alrededor del equipo rotativo será constante y de grosor homogéneo.
- b) No es necesario que el equipo esté en funcionamiento para que se esté lubricando, ya que la niebla no se deja de inyectar.
- c) La conducción del calor generado en este proceso de lubricación se logra por medio de la niebla, por lo que las temperaturas de trabajo disminuyen considerablemente.

- Debido a la inyección de la niebla, la presión que se tenga será ligeramente mayor a la del medio ambiente. Esto nos beneficia en que los contaminantes que se tengan en la atmósfera de trabajo no podrán tener acceso a la caja, aumentando la vida de los baleros en un porcentaje considerable.

- No desperdiciamos lubricante, ya que proporcionamos la cantidad requerida al inyectar la niebla reclasificada. Además, se evitan los problemas de fuga de aceite o daños al equipo por una mala lubricación.

- Respecto a la botella de dren, está tendrá que ser monitoreada ó drenada por períodos constantes. Este puede ser un factor que demuestra que el mantenimiento por parte del operario no es eliminado, aunque si disminuye el tiempo dedicado a cada equipo por parte del mismo.

- Una ventaja muy importante es la que se deriva de que al tener un flujo continuo de niebla, la capa de lubricante que se tenga se mantendrá por un periodo de hasta 8 hrs. si se llegara a interrumpir este flujo. Esto dá una gran confiabilidad, puesto que no es necesario reemplazar el equipo tal como se hace cuando se tiene otro tipo de lubricación.

La figura 5.2 que a continuación se muestra, nos da una idea de la manera en que se utiliza la niebla por inmersión en seco.

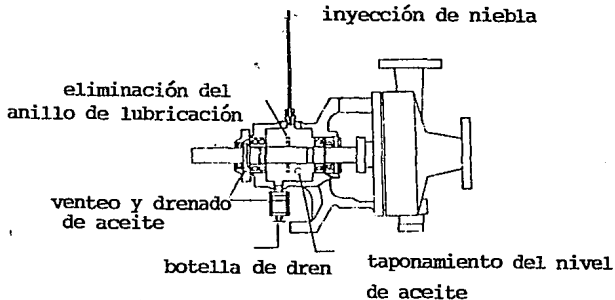


FIGURA 5.2

### Lubricación por inmersión en húmedo ó niebla purga.

Existen algunas aplicaciones donde es necesario conservar el aceite que se esté utilizando por lo que drenarlo sería algo contraproducente. Para este tipo de equipos también se puede utilizar la 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 ella, la neblina se introduce por el barreno de llenado a la caja de baleros, cubriendo el espacio sobre el lubricante líquido y eliminándose el aire y niebla de fuga por medio de desfuegos. Como consecuencia de la inyección de niebla, el nivel de aceite que tengamos aumentará en forma continua. Es por eso necesario que se emplee un pequeño barreno en la caja conectado a un sistema sencillo de drenado. Así, al aumentar el nivel de aceite llegará al nivel máximo y será drenado para evitar una sobrelubricación en el equipo, lo que redundaría en diversos problemas de funcionamiento. También se coloca una botella de nivel al colector de drenaje, con el propósito de inspeccionar visualmente la cantidad de aceite tanto en los colectores como en la caja de baleros.

El objetivo de utilizar este tipo de lubricación es el de aprovechar la presión que se ejerce dentro de la sección cerrada donde está contenido el aceite y evitar que entren los contaminantes y degraden la calidad del aceite.

Otra ventaja de utilizar lo anterior, es que el equipo tiene una capa de lubricante constante aún sin que esté funcionando. Esto evita los desgastes que se tienen cuando, al empezar a funcionar un equipo, hay partes que tienen contacto metal con metal, razón por lo cual su vida de operación disminuye, además de poder provocar otros inconvenientes como podría ser, por mencionar algunos, un desalinamiento o desbalanceo. Un esquema de este tipo de aplicación se muestra en la figura 5.3.

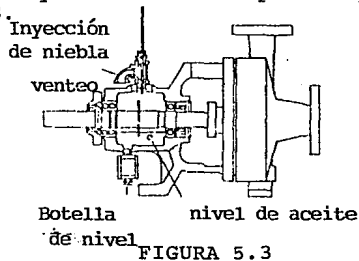


FIGURA 5.3

### Adaptación del equipo para la lubricación por niebla.

Una vez aplicada la niebla al punto a lubricar después de haber considerado qué tipo de reclasificador es el necesario, no se puede decir que el proceso de lubricación ha terminado. Todavía falta un punto indispensable para tener un sistema bien diseñado, siendo este punto el referente al del venteo o escape del medio en el que está contenido el aceite: el aire. Esto se tiene que asegurar para que se tenga un gradiente de presión y permitir el flujo de la niebla, ya que si no existiera, se tendría que nuestro sistema aumentaría de presión, lo que ocasionaría daños de gran consideración.

El criterio anterior debe ser aplicado a equipos cuya velocidad de trabajo sea alta y en donde las condiciones de servicio sean pesadas o aún moderadas. Para equipos normales de proceso no será necesario colocar estos venteos, puesto que se aprovecharán las partes componentes de los mismos, tales como los sellos, para aprovechar la salida de aire y también de niebla (niebla de fuga).

Otro aspecto importante es el relacionado a la dirección que tendrán que tener los reclasificadores en algunos equipos, siendo su posición normal la vertical. Sin embargo, la velocidad lineal del rodamiento, la carga a que sean sometidos éstos y su método de ensamble determinarán la colocación y dirección de los reclasificadores y el camino que deberá seguir la niebla para lubricar eficientemente y no solo mojar a los elementos. Este flujo de niebla puede ser diseñado de varias maneras, y para mostrar esto volvamos al ejemplo de la caja de baleros de la bomba (figura 5.4):

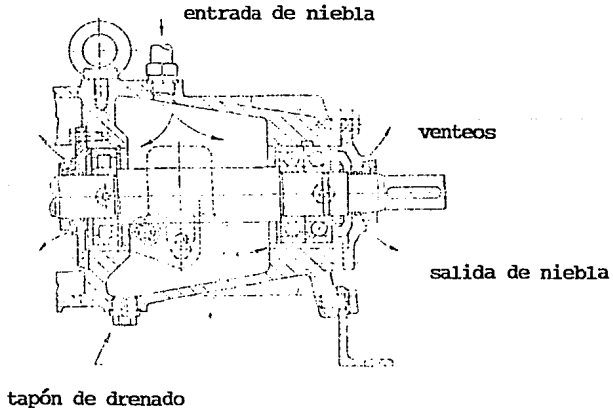
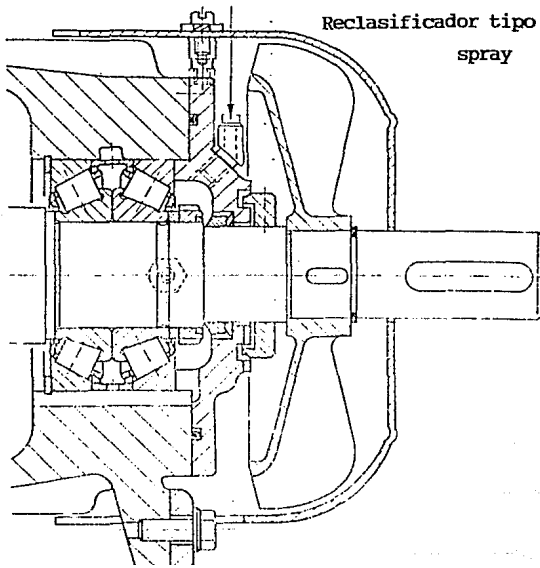


FIGURA 5.4

En la figura se observa que la niebla es inyectada por el centro de la caja de baleros y que cubre toda ésta, lubricando la flecha, los baleros y las áreas de sellado. Este es el flujo natural de la niebla que es inyectada a una caja de baleros que tiene sellos tipo laberinto, ya que a través de ellos se permite la salida del aire y de la niebla de fuga. Si se utilizarán otro tipo de sellos u otra caja de sellado, el venteo consistiría en barrenar un pequeño agujero en la tapa de los baleros que cubre a los elementos rotativos.

Una manera de proveer una lubricación más directa es aplicar el reclasificador en las tapas de los baleros, tal como se observa en la figura 5.5, donde el venteo que se proporciona está colocado en la parte baja de la caja para asegurar el gradiente de presión necesario y que el flujo de niebla exista sin ningún problema. Las ventajas de este tipo de aplicación se relacionan directamente con la efectividad de la lubricación, siendo estas ventajas las siguientes:

- Si existiera un flujo de aire externo provocado por condiciones ambientales ó por un equipo cercano al equipo lubricado (por ejemplo un motor), el venteo necesario no tendrá ningún impedimento para proveer ese flujo de niebla.
- El reclasificador es montado a una distancia muy cercana al punto a lubricar, con lo que la cantidad de lubricante será altamente aprovechada (una razón de consumo de aceite menor).



La niebla de aceite también puede ser dirigida hacia los baleros aprovechando la turbulencia que se forma por el movimiento de las partes rotativas. La desventaja de este método es que sólo se limita a baleros sencillos de una sola hilera, con capacidad de servicio moderado, una velocidad lineal de la superficie mayor a 1 m/s y un diámetro menor a 4 pulgadas. Un ejemplo de este tipo de aplicación del flujo de niebla se muestra en la figura 5.6.

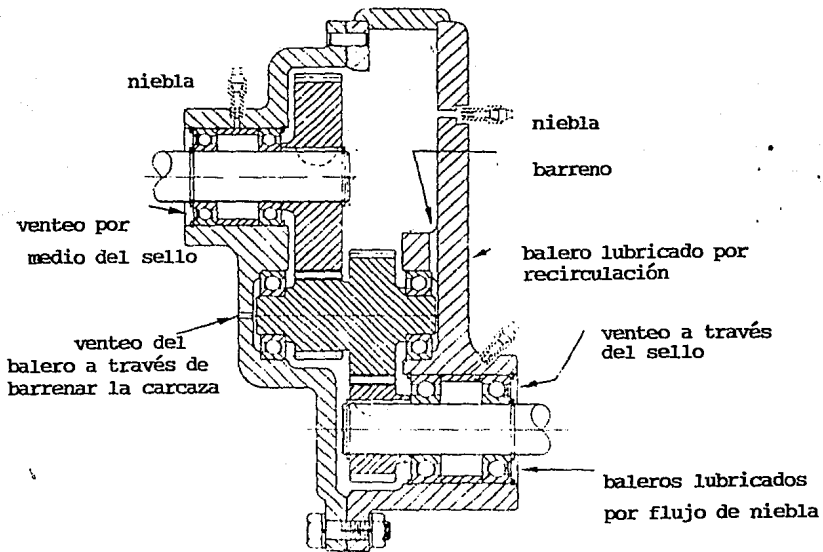
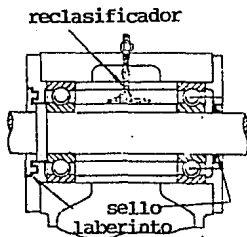


FIGURA 5.6

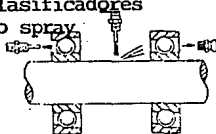
De los párrafos descritos arriba se ve que el diseño del venteo es importante. Se tiene como regla principal proporcionar un área de venteo que sea igual a dos veces el área de flujo de niebla que se inyecte. La presión que se tenga con estos venteos llegará a alcanzar un 20 % de la presión del múltiple de distribución. Se debe asegurar con los venteos que el flujo de niebla tenga un recorrido desde el reclasificador hasta las superficies ó equipos a ser lubricados. En los siguientes esquemas se muestran estándares en cuanto al diseño de la posición de los reclasificadores y de los venteos (figura 5.7).

De estos esquemas el venteo puede ser proporcionado por



Aplicación en servicio moderado

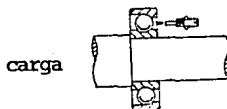
reclasificadores tipo spray



venteo

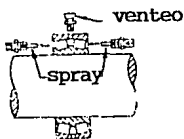
Servicio pesado, para elementos de dos hileras

Baleros de bolas con contacto angular

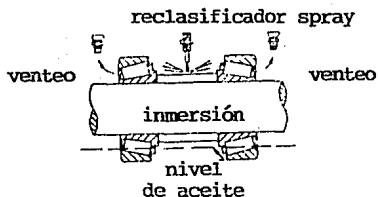


carga

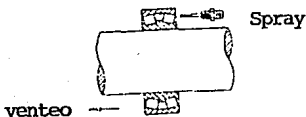
Servicio pesado



Servicio pesado para rodamientos dobles



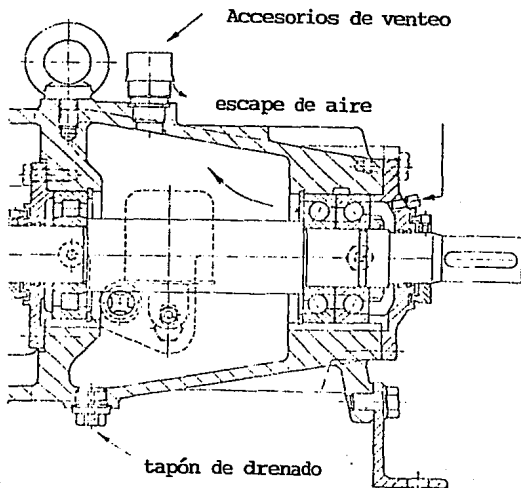
Elección alternativa para carga pesada con dos hileras



Servicio moderado para elementos de dos hileras

los mismos sellos ó por orificios expresamente hechos para esto. Los puertos de venteo pueden también ser utilizados como puntos de drenado o puertos de salida del aceite cuando éste alcanza un nivel mayor al establecido. En una aplicación por niebla purga el venteo puede ser aplicado justo encima del nivel superior del nivel de aceite y así proveer un escape al exceso de aceite en el equipo a lubricar. Estos venteos deben ser colocados para que el aceite líquido no se fugue completamente por este puerto, ya que provocaría problemas de lubricación y de mantenimiento bastante serios. Para aplicaciones con niebla pura el venteo debe ser colocado en la parte baja de la caja de baleros ya que por ahí mismo podrá ser drenado el aceite que se vaya condensando.

En la colocación de los venteos se debe siempre considerar que éstos no admitan la intromisión de contaminantes hacia la caja de baleros. Así pues, los agujeros colocados en las paredes de la caja deben tener una pendiente dirigida hacia la parte externa de ella. Los puertos de venteo colocados en la parte superior de las cajas de baleros deben tener atornillados accesorios de fuga, los cuales no permiten el acceso de contaminantes al interior de la caja. Ilustraciones respecto a estos accesorios se muestran en la figura 5.8.



Nuestra atención se ha centrado en los venteos diseñados hacia cajas de baleros ó rodamientos encerrados en secciones selladas para su lubricación efectiva. Sin embargo, un diseño de venteo para las chumaceras resulta de capital importancia. En estos equipos, las tolerancias de fabricación permiten que el aire se fugue a través de ellas. El problema surge cuando estas tolerancias no son capaces de ofrecer suficiente espacio para el venteo. Para resolver este problema, un agujero debe ser hecho en el mismo plano radial en el que se encuentra el reclasificador, y estos dos dispositivos, (el reclasificador y el barreno para el venteo), se encuentran conectados por una vena radial. La colocación del venteo debe ser en forma opuesta al sentido de giro de la flecha en la chumacera, para poder así aprovechar este movimiento en contrasentido y proveer mejor venteo (ver figura 5.9).

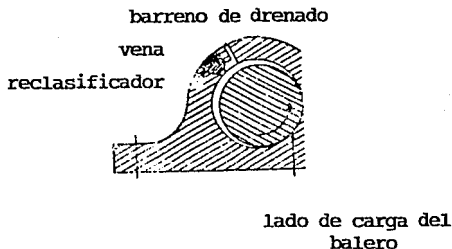


FIGURA 5.9

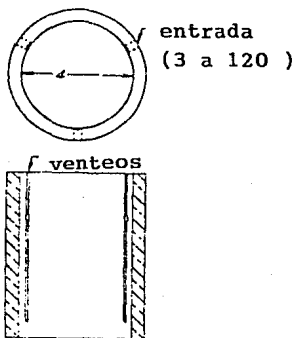
Algunas reglas prácticas respecto al diseño de los venteos para las chumaceras ó baleros planos se muestran a continuación, en donde se debe observar que dichos venteos cumplen con los diseños que se hacen de las venas cuando se lubrican las chumaceras con aceite (figura 5.10).

#### Recolección del lubricante.

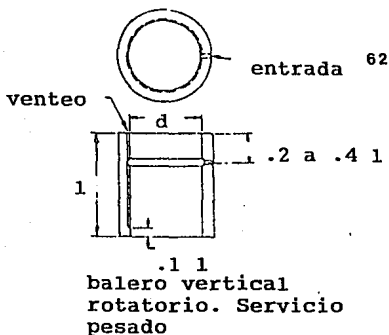
El último paso para tener completo el diseño de las adaptaciones del equipo cuando se lubrica por niebla es el referente a la recolección de lubricante líquido. Este existe en las cajas de baleros de motores, bombas y equipos similares, debido a la "condensación" de las gotas de aceite que se forman ya sea por la reclasificación de la niebla o por la turbulencia generada por la misma acción del equipo rotativo. La consecuencia de esto es que el nivel de aceite comenzará a inundar la caja de baleros si no se cuenta con un sistema de drenado ó de eliminación del sobre-nivel del aceite.

La manera de coleccionar entonces el aceite es colocando una



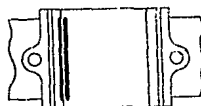
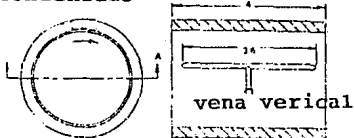


balero vertical con flecha oscilante. Carga pesada y altas pérdidas de aceite



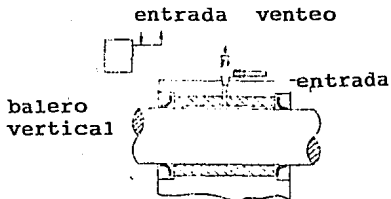
entradas y vanteos no mostrados

entrada para condensado

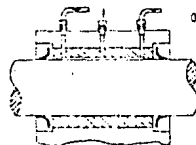


Venas y chaflanes para alta carga y baja velocidad

Ventee para cojinetes planos horizontales. Servicio moderado.



servicio moderado



entrada y ventee para baleros de menos de 5" de longitud con sellos de contacto.

entradas y vanteos para baleros de más de 5" de longitud con sellos de contacto.

pequeña botella transparente de aceite en la parte inferior de la caja de baleros. Así, cuando el aceite aumenta de nivel puede ser conducido a un sistema de drenado ó ramal principal y evitar que el aceite caiga en los alrededores del equipo ó zona de trabajo. Se aprovecha que la botella sea transparente para así observar la calidad del aceite que se está drenando, así como su nivel. Además el venteo de esta botella de drenado puede ser provisto por medio de un tubo en U para evitar la entrada de contaminantes y crear una pequeña presión negativa sobre la caja de baleros (aproximadamente de 50 a 125 Pa). Como se mencionó en capítulos anteriores, estas botellas deben ser drenadas periódicamente para evitar una sobrepresión en la caja de baleros.

Generalmente se tiene que la tubería de diámetro pequeño que colecta a la caja de baleros con la botella de drenado está puesta en la parte inferior de ésta. Cuando el aceite condensado empieza a acumularse, entonces cubrirá las entradas de las tuberías de conexión, con lo que los venteos asociados a cada una de ellas dejará escapar la niebla de fuga sí y sólo si un balero está siendo lubricado por niebla.

Las botellas de drenado también son utilizadas para colocarse en las cajas de baleros de algunas turbinas, ya que son lubricadas por niebla purga, pues utilizan chumaceras. Se tienen botellas de drenado del tipo mostrado en la figura 5.11 colocadas en la parte inferior de la caja de baleros. Como las pequeñas turbinas de vapor tienen problemas con las fugas del mismo a través de los laberintos, con la subsecuente condensación de los mismos y por lo tanto de contaminantes hacia la caja de baleros, las botellas transparentes permiten que el agua sea observada y después drenada para evitar entonces los daños a la caja de baleros. Es importante diseñar la tubería de conexión de la caja de baleros a la botella de drenado de acuerdo a la tensión superficial del agua dentro de la misma; si la línea fuera pequeña, la tensión superficial podría provocar que el agua no goteara hacia la botella de dren.

Si se desea colocar botellas de mayor capacidad que las anteriores, la única condición que se deberá cumplir es que exista suficiente espacio para su colocación. De ser posible, y dependiendo de las condiciones ambientales, las botellas de drenado serán de plástico con la subsecuente disminución de costos y la ventaja de drenarlas en periodos de tiempo más largos.

Hay métodos para recuperar la niebla de fuga de la caja de baleros, y evitar así escapes al medio ambiente. Uno de estos métodos es por medio de la utilización de sellós sin contacto del rotor-estator, los cuales sirven como tapas de las cajas de baleros. Estos sellós están equipados con un puerto de

expulsión en el cuál una línea de conexión, a una pequeña presión de vacío, es conectada a ese puerto. El estator es presionado dentro de la bomba ó en la caja de baleros del motor por medio de un anillo. El espacio diámetro es aproximadamente de 0.2 mm entre el estator y la flecha. El rotor se conecta axialmente en el estator y se coloca en su posición por medio del anillo. Debido a una combinación del movimiento rotatorio, fuerzas de gravedad y presión de vacío, los contaminantes atmosféricos y la niebla de fuga son dirigidos hacia un punto de colección externa. El porcentaje de recuperación de la niebla de fuga al utilizar este método es del 40 %. Otro método consiste en la utilización de sellos de "labios", en donde un puerto separado de salida debe ser provisto ó hecho. Este puerto debe ser localizado de tal manera que permita el flujo de la niebla a través del equipo rotativo a ser utilizado, para luego dirigirse ya sea a un separador centrifugo, esencialmente un soplador de alta velocidad para crear extrema turbulencia, ó a un precipitador electrostático. Ejemplo de estas aplicaciones se muestran en las figuras 5.12 y 5.13, mientras que en la figura 5.14 se enseñan los sellos rotor-estator.

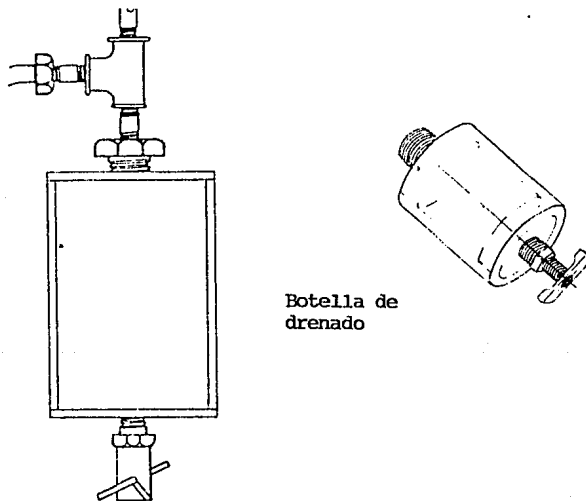
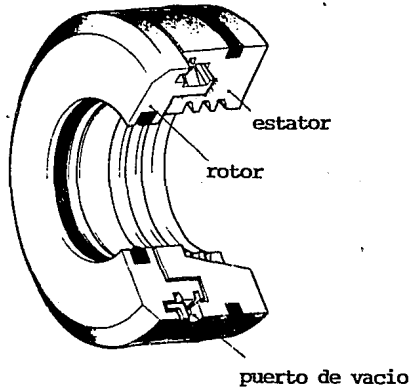


FIGURA 5.11

Para finalizar este capítulo mencionaremos que se puede utilizar la condensación forzada para la recuperación del aceite. Los precipitadores electrostáticos, permiten que la niebla pase a través de una sección ionizadora, en donde a todas las partículas se les dá una carga eléctrica. La niebla pasa después a una celda colectora, en donde las partículas son atraídas y colectadas en platos de carga opuesta a ellas. El

aire limpio pasa después a un puerto de salida, mientras que el aceite colectado, ahora en forma líquida, se dirige fuera de las celdas colectoras para ser almacenado ó recirculado al sistema de generación.



## CAPITULO VI

---

## CAPITULO VI

### Calculos principales para los sistemas de lubricación por niebla

El lector se preguntará si está capacitado en este instante para poder instalar y aplicar un sistema de lubricación por niebla. La respuesta es que aunque nuestro tema es sencillo, todavía se deben dar algunos pasos antes de querer diseñar un sistema por niebla. Uno de los pasos a seguir es el referente al de como se debe calibrar nuestro sistema y qué unidades se deben manejar. En este capitulo trataremos entonces lo relacionado al tipo de unidades a utilizar, la selección de los reclassificadores, (lo cuál es el punto principal de los cálculos), y los cálculos referentes al consumo de aire y de aceite. Lo que respecta a parámetros para las factores de la temperatura del aire y del aceite se omitirán, ya que estos se darán en los apéndices por ser estándares. Como punto complementario a este capitulo se especificarán los parametros de selección de los sistemas y las normas generales para el sistema de distribución.

#### Unidades del sistema.

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

- a) Tipo de balero : su diámetro y características esenciales (factores geométricos).
- b) Carga a la que está sometido el rodamiento: pesada, mediana ó ligera.

Como nos hemos dado cuenta, las características anteriores fueron estudiadas exclusivamente para los baleros. Sin embargo, con el paso del tiempo y la ampliación de las aplicaciones del sistema por niebla, éstas unidades se han modificado por pequeños factores numéricos (constantes) y así facilitar la calibración de los requerimientos necesarios. Veamos pues los tres tipos de unidades que se manejan hasta la fecha:

#### **Pulgada Balero BI (bearing inch).**

Se define al BI como el producto que resulta de multiplicar el diámetro interno del balero que está sujeto a la flecha por el número de hileras del que está compuesto el mismo. De lo anterior se desprende que un BI es la cantidad necesaria de niebla lubricante que necesita un balero sencillo (de una hilera) con un diámetro interno de una pulgada. Al

definir estas unidades se define también el flujo de aceite necesario, ya que 1 BI corresponde a 0.018 pulgadas cúbicas de aceite por hora. Estas unidades son las comunes de las tres que se verán aquí y por la misma razón todos los cálculos y selecciones de accesorios y equipos se basarán en ellas.

### **Unidades de Lubricación (Lubrication Units).**

Estas unidades son el equivalente al sistema internacional de las unidades anteriores. Así, una unidad de lubricación es aquella cantidad de niebla de aceite necesaria para lubricar un balero sencillo con diámetro interno de 25 mm. Al utilizar entonces estas unidades, se debe multiplicar el diámetro de la flecha (en mm) por el número de hileras del balero y dividir entre 25. Por ejemplo, un balero sencillo con un diámetro de 75 mm requerirá entonces 3 unidades de lubricación.

### **SCFM (Standard cubic feet per minute).**

La calibración del sistema basado en estas unidades se fundamenta en el número de pies cúbicos de aire que pasan a través del cabezal generador ó vórtice por minuto. Para propósitos de diseño se establece que 1 SCFM requiere de 0.65 pulgadas cúbicas de aceite por hora, lo cual es un estándar en la mayoría de los fabricantes. Es en este factor en donde radica principalmente la diferencia de los diversos sistemas ya que a menores pulgadas cúbicas de aceite por cada SCFM se requerirá de mayor flujo de aire (mayor capacidad).

### **Cálculos de los BI y SCFM requeridos para los elementos de maquinaria a lubricar.**

Las ecuaciones a utilizar según los elementos a lubricar se muestran en la tabla 6.1. Es necesario notar que estos cálculos están basados en la experiencia, por lo que si el lector tiene otros cálculos basados en estudios fundamentados, deberá utilizarlos en vez de los proporcionados en la tabla.

#### **Notas a la tabla 6.1**

- 1) El reclasificador debe ser colocado para que proporcione el aceite a una hendidura o vena colocada longitudinalmente en la porción sin carga de la chumacera. La longitud de la hendidura deberá ser del 90 % de la longitud total de ésta; si se hace a todo lo largo de la chumacera se incrementarán las pérdidas de lubricante por los extremos y la distribución de lubricante será no homogénea

TIPO DE ELEMENTO	FIGURA	EDUCACION A UTILIZAR	MONENCLATURA	FACTORES	COMENTARIOS
A) Rodamientos de bolas de rodillos y agujas	1	BI= DIMRMLF SCFM=02R/Y	D1: diametro de flecha (in) D2: diametro de flecha (in) R: hilera del balero LF:R: Factor de carga	LF=3 : baleros de bolas, de rodillos conicos con precarga LF=2 : baleros de rodillos sin precarga. Baleros de bolas con precarga. LF=1 : baleros de bolas, de rodillos conicos sin precarga Rodillos de agujas. Y=14 :  Y=20 : baleros con carga constante. baleros con precarga baleros con uso a mas de 40 HP baleros con carga inercial alta Y=40 : para casos no especificados	Normalmente la velocidad no se considera en estos calculos. Sin embargo, para velocidades a mas de 110 m/min hay posibilidad de gran turbulencia que incida el flujo de aceite. Para este caso se debe utilizar reclassificadores especiales.
B) Rodamientos de rodillos conicos sin precarga	2	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	El reclassificador debe ser posicionado de tal manera que aplique el lubricante en la parte pequena del rodillo. Los rangos de la localizacion del reclassificador vs la superficie a lubricar seran de 3 mm a 25 mm como minimo y maximo respectivamente.
C) Rodamientos de rodillos conicos con precarga	3	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Este tipo de rodillos requieren de 2 a 3 ve mayor lubricacion que los anteriores. Se aplica entonces 2 reclassificadores para que del lubricante sea aplicado a la parte de $\pi$ diametro y los otros 2/3 a la parte mayor.
D)		BI = $d(HO.1R/R-1)11$ SCFM = $d/304R/300$	d= diametro de paso del tornillo (in) R= numero de hilera de los bolos.		El reclassificador debe ser dirigido aproximadamente al centro de la porcion sometida a carga. No es necesario aceites adicionales
E) Chumaceras	4	BI = $(DRLR/LF)R(0.125)$ SCFM = $DRL/Y$	D= diametro de la flecha (in) L= longitud de la chumacera (in) LF: Factor de carga. Area proyectada (AP) = DL	LF Carga estatica en AP (psi)  LF-1 menor a 100 LF-2 101 a 200 LF-4 201 a 400 LF-8 401 a 500	Los factores de carga mostrados aqui son funciones de la carga estatica en el area p recitada (AP). Los factores Y se clasifican segun las perdidas de aceite en la chumacera aunque aqui no se muestran dichos valores.  Ver nota 1.
F) Baleros oscilantes	5	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Ver nota 2.
G) Trenes y pares de engranes.	6	BI = $F1(F1+P2+...+F1)M(0.25)$ SCFM = $F1(F1+P2+...+F1)/160$	F= hecho de la cara del engrane (in) P1= diametro de paso del engrane menor (in). P2= diametro de paso del engrane mayor (in).		Cada reclassificador debe estar separado e dirigidos respecto a otros, segun sea el uso del diente. Las ecuaciones son validas para todo clase de engranes a velocidades mayores de 2000 ft/min usando reclassificadores esta



## CAPITULO VI

---

## CAPITULO VI

### Calculos principales para los sistemas de lubricación por niebla

El lector se preguntará si está capacitado en este instante para poder instalar y aplicar un sistema de lubricación por niebla. La respuesta es que aunque nuestro tema es sencillo, todavía se deben dar algunos pasos antes de querer diseñar un sistema por niebla. Uno de los pasos a seguir es el referente al de como se debe calibrar nuestro sistema y qué unidades se deben manejar. En este capítulo trataremos entonces lo relacionado al tipo de unidades a utilizar, la selección de los reclasificadores, (lo cuál es el punto principal de los cálculos), y los cálculos referentes al consumo de aire y de aceite. Lo que respecta a parámetros para las factores de la temperatura del aire y del aceite se omitirán, ya que estos se darán en los apéndices por ser estándares. Como punto complementario a este capítulo se especificarán los parametros de selección de los sistemas y las normas generales para el sistema de distribución.

#### Unidades del sistema.

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

- a) Tipo de balero : su diámetro y características esenciales (factores geométricos).
- b) Carga a la que está sometido el rodamiento: pesada, mediana ó ligera.

Como nos hemos dado cuenta, las características anteriores fueron estudiadas exclusivamente para los baleros. Sin embargo, con el paso del tiempo y la ampliación de las aplicaciones del sistema por niebla, éstas unidades se han modificado por pequeños factores numéricos (constantes) y así facilitar la calibración de los requerimientos necesarios. Veamos pues los tres tipos de unidades que se manejan hasta la fecha:

#### Pulgada Balero BI (bearing inch).

Se define al BI como el producto que resulta de multiplicar el diámetro interno del balero que está sujeto a la flecha por el número de hileras del que está compuesto el mismo. De lo anterior se desprende que un BI es la cantidad necesaria de niebla lubricante que necesita un balero sencillo (de una hilera) con un diámetro interno de una pulgada. Al

definir estas unidades se define también el flujo de aceite necesario, ya que 1 BI corresponde a 0.018 pulgadas cúbicas de aceite por hora. Estas unidades son las comunes de las tres que se verán aquí y por la misma razón todos los cálculos y selecciones de accesorios y equipos se basarán en ellas.

#### **Unidades de Lubricación (Lubrication Units).**

Estas unidades son el equivalente al sistema internacional de las unidades anteriores. Así, una unidad de lubricación es aquella cantidad de niebla de aceite necesaria para lubricar un balero sencillo con diámetro interno de 25 mm. Al utilizar entonces estas unidades, se debe multiplicar el diámetro de la flecha (en mm) por el número de hileras del balero y dividir entre 25. Por ejemplo, un balero sencillo con un diámetro de 75 mm requerirá entonces 3 unidades de lubricación.

#### **SCFM (Standard cubic feet per minute).**

La calibración del sistema basado en estas unidades se fundamenta en el número de pies cúbicos de aire que pasan a través del cabezal generador ó vórtice por minuto. Para propósitos de diseño se establece que 1 SCFM requiere de 0.65 pulgadas cúbicas de aceite por hora, lo cual es un estándar en la mayoría de los fabricantes. Es en este factor en donde radica principalmente la diferencia de los diversos sistemas ya que a menores pulgadas cúbicas de aceite por cada SCFM se requerirá de mayor flujo de aire (mayor capacidad).

#### **Cálculos de los BI y SCFM requeridos para los elementos de maquinaria a lubricar.**

Las ecuaciones a utilizar según los elementos a lubricar se muestran en la tabla 6.1. Es necesario notar que estos cálculos están basados en la experiencia, por lo que si el lector tiene otros cálculos basados en estudios fundamentados, deberá utilizarlos en vez de los proporcionados en la tabla.

#### **Notas a la tabla 6.1**

1) El reclasificador debe ser colocado para que proporcione el aceite a una hendidura o vena colocada longitudinalmente en la porción sin carga de la chumacera. La longitud de la hendidura deberá ser del 90 % de la longitud total de ésta; si se hace a todo lo largo de la chumacera se incrementarán las pérdidas de lubricante por los extremos y la distribución de lubricante será no homogénea

TIPO DE ELEMENTO	FIGURA	EQUACION A UTILIZAR	NOMENCLATURA	FACTORES	COMENTARIOS
A) Rodamientos de bolas de rodillos y agujas	1	$B1 = D1R/LF$ $SFCM = D2R/Y$	D1: diametro de flecha (in) D2: diametro de flecha (mm) R: Mileras del bolero LF, R: Factor de carga	LF=1: boleros de bolas, de rodillos conicos con precarga LF=2: boleros de rodillos sin precarga. Boleros de bolas con precarga. LF=1: boleros de bolas, de rodillos conicos sin precarga Rodillos de agujas. Y=14: Y=20: boleros con carga constante, boleros con precarga boleros con uso a mas de 40 HP boleros con carga inercial alta Y=40: para casos no especificados	Normalmente la velocidad no se considera en estos calculos. Sin embargo, para velocidades a mas de 610 m/min hay posibilidad de gran turbulencia que incide el flujo de aceite. Para este caso se debe utilizar reclassificadores especiales.
B) Rodamientos de rodillos conicos sin precarga	2	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	El reclassificador debe ser posicionado de tal manera que aplique el lubricante en la parte pequena del rodillo. Los rasgos de la localizacion del reclassificador vs. la superficie a lubricar seran de 3 mm a 25 mm como minimo y maximo respectivamente.
C) Rodamientos de rodillos conicos con precarga	3	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Este tipo de rodillos requieren de 2 a 3 ve mayor lubricacion que los anteriores. Se aplica entonces 2 reclassificadores cara que del lubricante sea aplicado a la parte de n diametro y los otros 2/3 a la parte mayor.
D)		$B1 = d/(10.13R-11)$ $SFCM = d/304R/300$	d= diametro de paso del tornillo (in) R= numero de hileras de los bolos.		El reclassificador debe ser dirigido aproximadamente al centro de la porcion sometida a carga. No es necesario ventos adicionales
E) Chanceros	4	$B1 = (D1)(LF)(10.125)$ $SFCM = D1L/Y$	B= diametro de la flecha (in) L= longitud de la chancera (in) LF= Y= factor de carga. Area proyectada (AP) = D1L	LF Carga estatica en AP (psi) LF=1 menor a 100 LF=2 101 a 200 LF=4 201 a 400 LF=8 401 a 500	Los factores de carga mostrados aqui son funciones de la carga estatica en el area proyectada (AP). Los factores Y se clasifican segun las perdidas de aceite en la chancera aunque aqui no se muestran dichos valores.
F) Boleros oscilantes	5	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Igual que inciso anterior	Ver nota 1.
G) Trenes y pares de engranes.	6	$B1 = Fx(P1+P2+...+Pn)(10.25)$ $SFCM = Fx(P1+P2+...+Pn)/160$	F= ancho de la cara del engrane (in) P1= diametro de paso del engrane menor (in), P2= diametro de paso del engrane mayor (in).		Cada reclassificador debe estar separado a d pulgadas respecto a otros, segun sea el mac del diente. Los engranes son velidos para todo clase de engranes a velocidades mayores de 2000 ft/min usando reclassificadores esta

			P1=diámetro de oso de engranes adicionales (in).	
H) Par de engranes con relación de diámetros alta.	7	$BI = F \times (3P1) \times (0.25)$ $SCFM = F \times (3P1) / 110$	F=Ancho de la cara del engrane (in) P1=diámetro de peso del engrane menor (in)	
I) Engranes que trabajan en dos sentidos.	8	$BI = F \times (P1 \times P2 + \dots + P1) \times (0.5)$ $SCFM = F \times (P1 \times P2 + \dots + P1) / 110$	Igual que inciso 6	
J) Engranes de gusano.	9	$BI = 0.25 \times (L \times P1 \times F \times P2)$ $SCFM = F \times (2 \times P1 \times P2) / 160$	L=Longitud del gusano (in). P1=diámetro de peso del gusano (in) P2=diámetro de peso del engrane (in) F=Ancho del diente del engrane (in)	
K) Engranes de gusano a doble sentido.		$BI = 0.5 \times (L \times P1 \times F \times P2)$ $SCFM = F \times (2 \times P1 \times P2) / 110$	Igual que inciso anterior.	
L) Pinon y cremallera.		$BI = (F \times P) \times (0.5)$ $SCFM = F \times (P \times L \times 3) / 110$	F= ancho de la cara del pinon (in) P= diámetro de peso del pinon (in). L=longitud de la cremallera (in).	
M) Levas	10	$BI = (F \times D) / 10$ $SCFM = (F \times D) / 400$	F=ancho de la cara de la leva (in) D=diámetro máximo de la leva (in)	
N) Superficies deslizantes.		$BI = (L \times W) \times (0.05)$ $SCFM = (L \times W) / 800$	L=longitud de la superficie (in) W=ancho del área de contacto (in)	
O) Superficies deslizantes verticales.		Igual que inciso anterior.	Igual que inciso anterior.	
P) Cadenas	11	$BI = (P \times R \times (S/100) \times (3/2)) / 8$ $SCFM = (P \times R \times (S/100) \times (3/2)) / 320$	P=peso de la cadena (in). R=diámetro del sprocket (in) S=número de hilos de las cadenas (si son múltiples). Sera del sprocket. Si es menor de 200 utilizar 200 en los cálculos.	

Para obtener un lubricación optima se puede utilizar reclassificadores de alta eficiencia con velocidades de 2000 a 3000 Ft/min.

Estas formulas son utilizadas cuando la raz de los engranes es menor a 2. Se utiliza en ces al diámetro P2 con un valor de 2P1. Se debe colocar al reclassificador en sentido opuesto a la direccion del sinon.

Para este tipo de engranes se requiere de m lubricacion. debido a que ambos lados del d deben ser lubricados.

Los reclassificadores deben ser dirigiidos desde el lado de carga de los dientes tanto gusano como del engrane.

Ambos lados del diente. tanto del gusano como del engrane son lubricados.

Los BI totales para estos elementos son la mitad del area arrectada del pinon, mientras que los SCFM calculados usan la formula de los engranes de doble sentido, con lo longi de la cremallera dividido por 3. Ver nota 3

Cada dos puladas del ancho de la leva rean un reclassificador, el cual debe estar colocado mas de 1 in si menos de 1/8 de in. de la superficie de la leva.

Cuando las superficies deslizantes son horizontales, se debe colocar un reclassificador en in de longitud, colocado a una distancia de sobre la superficie como maximo y de 1/8 de

como minimo. Además, cada 6 in de ancho de superficie se debera colocar un reclassificado

Ver nota 4.

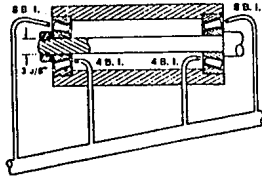
Los reclassificadores deben ser colocados en parte alta de la superficie y asi permitir aceite se distribuya a lo largo por la grav

Si la cadena esta completamente cubierta, 1 BI o SCFM calculados se dividen entre 2. Si se tuvieran mas de 2 sprockets, el sobre que se debe cuantiar en los BI es de 10 %.

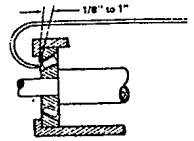
Ver nota 5.



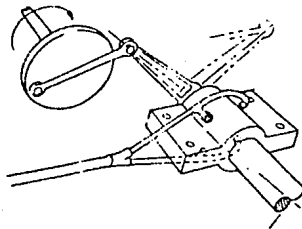
1



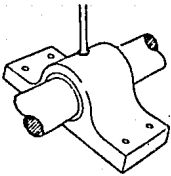
2



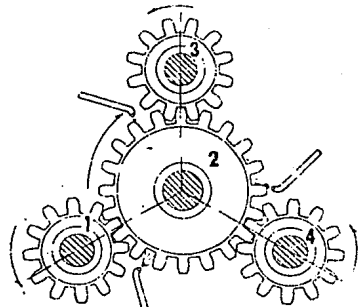
3



5

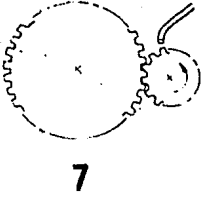


4

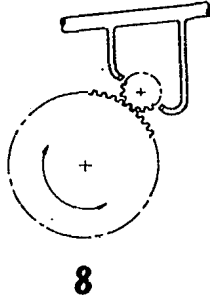


$$G. L. = \frac{1}{2}(P_1 + P_2 + P_3)$$

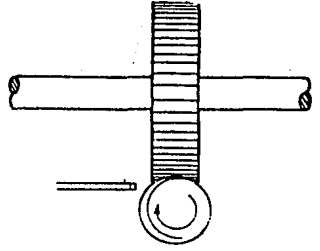
6



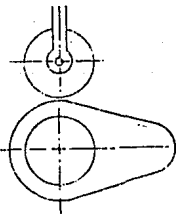
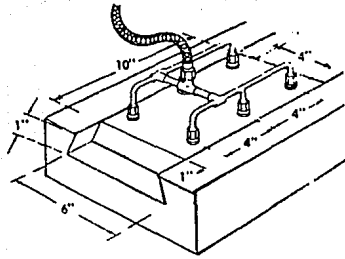
7



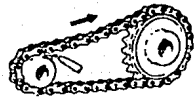
8



9



10



11

2) El número de reclasificadores requeridos dependerá de la longitud de la flecha. Para diámetros menores a una pulgada, se utilizarán 2 reclasificadores colocados en forma diametralmente opuesta. Para tamaños mayores de diámetro, un mínimo de 2 reclasificadores es requerido, mientras que el número máximo de estos será de 3, colocados a distancias iguales uno de otro.

Para baleros horizontales se deberá colocar un reclasificador cada 6 pulgadas de longitud de la misma. Para baleros verticales, el reclasificador debe ser colocado de tal manera que entregue el lubricante a una hendidura circunferencial, a una altura de un tercio de pulgada arriba del balero.

3) La descarga del reclasificador en los engranes debe de estar entre  $1/8$  in y 1 in de la cara saliente del engrane, y dirigido al lado del diente que soporta la carga. En los engranes con una razón entre ellos alta es mejor lubricar el engrane pequeño. El ángulo que se debe tener al aplicar el reclasificador será de 90 a 120 grados del punto de contacto entre los engranes.

Para lubricar ambos lados de los engranes de doble sentido, se pueden utilizar dos reclasificadores colocados en sentido opuesto o si se prefiere se puede utilizar un sólo reclasificador tipo spray que vaya dirigido, hacia abajo, al eje del engrane. Al colocar el reclasificador en esta posición se obtiene una mejor lubricación que la que se obtendría al colocarlo verticalmente hacia arriba, ya que en ésta posición los SCFM ó BI requeridos serían del doble aproximadamente.

4) Si se tienen otras áreas de contacto que no sean rectangulares, en las fórmulas anteriores se debe utilizar la ecuación del área a tratar en vez de  $L \cdot W$ . Otras consideraciones tales como el tamaño físico del miembro deslizante y su altitud, pueden influir para modificar los requerimientos de lubricación.

Las técnicas de aplicación para miembros deslizantes son simples, ya que los reclasificadores deben descargar el lubricante dentro de hendiduras a través de la superficie de contacto perpendicular a la dirección del movimiento. El diseño de estas hendiduras es similar al diseño explicado en las chumaceras, para que así los reclasificadores al ser dirigidos a las hendiduras aseguren un venteo del aire adecuado.

5) En las cadenas de transmisión sencillas los



requerimientos de lubricante obtenidos por las ecuaciones anteriores debe ser dividido para que un reclasificador dirija el lubricante a cada una de las catarinas de la transmisión. Para cadenas dobles será necesario colocar un reclasificador a cada cadena sencilla tal como se muestra en la figura 12. Por otra parte en cadenas múltiples o cadenas muy anchas, la hilera central debe de recibir el doble de lubricante que las hileras externas.

Para las cadenas silenciosas se deben colocar reclasificadores cada 1/2 in de ancho de la cadena, colocando el primer reclasificador a 1/4 in de la parte externa de aquella.

Respecto a la dirección y colocación del reclasificador, este debe ser dirigido en dirección opuesta al movimiento de la cadena a una distancia de 1 in de la misma (ver figuras anteriores). El punto preferido de aplicación es el de colocar al reclasificador en la parte interna de la cadena que va dejando la catarina motriz, debido a que la cadena no está tensionada y puede penetrar mejor el aceite.

### Selección de los reclasificadores.

Conocidos los requerimientos a lubricar lo que falta por hacer es seleccionar los reclasificadores adecuados que nos proporcionarán los BI ó SCFM necesarios. Los reclasificadores se clasifican según cada fabricante de estos sistemas. Tomaremos como referencia los datos proporcionados por Lubrication Systems Company por la facilidad de los mismos y porque nuestra experiencia sobre estos sistemas se ha desarrollado en esta empresa. Sin embargo, para datos dados por otros fabricantes sólo se deberán utilizar sus estándares y criterios de selección, ya que la metodología a seguir será la misma.

En la siguiente tabla se muestra la relación que hay entre los BI y los SCFM (tabla 6.2):

Bearing Inch		scfm	
1	9	.03	.??
2	10	.06	.30
3	12	.09	.36
4	15	.12	.45
5	20	.15	.60
6	25	.18	.75
7	30	.21	.90
8	40	.24	1.20

TABLA 6.2

Los reclasificadores se han estandarizado según los datos de la tabla anterior por LSC, y se seleccionan según la capacidad requerida por cada punto a lubricar. Los reclasificadores disponibles se muestran a continuación:

TIPO DE RECLASIFICADOR			UNIDADES	
Niebla	Condensado	Spray	BI	SCFM
500	520	528	1	0.03
501	521	529	3	0.09
502	522	530	6	0.18
503	523	531	10	0.30
504	524	532	15	0.45
505	525	533	20	0.60

Así, una vez conocidos los requerimientos de los BI o SCFM de cada punto a lubricar, se seleccionarán los reclasificadores adecuados según la tabla anterior. Aunque resulte obvio, si tenemos que los BI requeridos se encuentran entre alguno de los valores estándares dados, el reclasificador que se deberá seleccionar será el inmediato superior. Si se llegara a seleccionar un reclasificador demasiado grande se podrán presentar entonces problemas de presión en la caja de baleros y un flujo excesivo de niebla de fuga.

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

Los cálculos para las aplicaciones en niebla purga no serán tomados en consideración. Un reclasificador tipo 501 deberá ser usado para cajas de baleros pequeñas, tales como las de turbinas, pequeñas bombas y motores. Se utilizará un reclasificador del tipo 502 para las cajas de baleros grandes y las cajas de engranes; los reclasificadores de mayor tamaño no serán tomados en cuenta.

El último paso a considerar dentro de los parámetros de diseño de nuestro sistema es el relacionado al cálculo del consumo de aire y del aceite. Para hacer lo anterior será necesario hacer un levantamiento de todo el equipo que guerra ser lubricado por la niebla de aceite, lo cual se realiza por medio de una lista como la que se muestra en el capítulo VII. El lector podrá ya analizar el porque de todos los datos que aparecen en esa lista por lo que ya no nos detendremos en

explicarla.

### Selección de la cabeza generadora.

Como se puede ver de la lista anterior, los requerimientos de los BI totales serán la sumatoria de cada uno de los BI requeridos para cada equipo. Con este dato 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 cerca de la mitad de la curva, para que así si se requieren hacer modificaciones al sistema para ampliar el equipo a lubricar, se pueda utilizar el mismo cabezal. Los cabezales estándares que se manejan se muestran a continuación:

MODELO DE CABEZAL	UNIDADES	
	BI	SCFM
77'001	40	1.2
77'002	100	3.0
77'003	300	9.0
77'004	500	15.0
77'005	1000	30.0

Entonces conocidos los BI totales, (lo que quiere decir que todos los reclasificadores han sido seleccionados), se deberá escoger el cabezal que proporcione un 25 % de más de estos BI. Esto se hace con el fin de evitar las pérdidas que se producen de la niebla tanto al generarla como al transportarla. De nuevo es conveniente hacer un comentario respecto a la selección del cabezal: si tuvieramos que elegir un generador que no estuviera en los límites anteriores, se tendrán las posibilidades de elegir el inmediato superior ó inferior. Es aquí donde entra ya el criterio del diseñador, puesto que si se elige un cabezal demasiado sobrado, la velocidad del aire que se tenga dentro del vórtice no será la idónea para generar la niebla. Por otro lado si el cabezal elegido no cubre las necesidades de lubricación no tendremos buenos resultados; es por lo tanto indispensable valorar hasta que rango de ese 25 % de más se puede proporcionar al elegir un cabezal pequeño.

### 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 minuto. Entonces el flujo necesario de aire estará ya dado al

hacer los cálculos del equipo total a lubricar (SCFM totales).

### **Cálculo del aceite requerido.**

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

- 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. Una pequeña guía de como hacer los cálculos principales de un sistema de lubricación por niebla se da a continuación:

- 1.- De cada equipo a lubricar sacar los datos necesarios para poder sacar los BI ó SCFM según las ecuaciones dadas en la tabla 6.1.
- 2.- Hacer la sumatoria de todos los BI / 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.
- 3.- De los BI / SCFM totales sacar el flujo de aire necesario así como la cantidad de aceite requerida.

La guía anterior no nos da la visión completa de el diseño general de un sistema. Todavía es necesario considerar dos puntos:

- a) La selección del equipo generador, (no sólo del cabezal), lo que será una función del equipo disponible y de los requerimientos del cliente.
- b) El diseño del sistema de distribución.

### **Guías generales para la selección adecuada de un sistema de lubricación por niebla.**

Las siguientes características de las consolas a seleccionar se basan en la experiencia y uso de diversos sistemas a través de los años. Sin embargo no se pueden considerar como normas de diseño, ya que la selección de cada equipo dependerá de las condiciones de campo en donde se va instalar el sistema, los requerimientos de equipo a lubricar,

## TIPOS DE SISTEMAS POR NIEBLA DE ACEITE

### TIPO A

Menos de 8 piezas de equipo que es lubricado. Usado en zonas de aplicación no crítica, por lo que no son -- revisados periódicamente.

Temperatura ambiente moderada (20 F). Se pueden manejar bajas temperaturas -- si se asegura un continuo -- chequeo por parte del operario.

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.

Ninguna consola es requerida, ya que el sistema es -- manualmente controlado. Si es necesario proteger a la cabeza generadora contra la humedad del ambiente.

No se tienen alarmas automáticas o controles, debido a que el sistema es usado en equipo no crítico, -- cuál está remotamente localizado y utiliza niebla -- purga. Si la niebla pura -- quiere ser utilizada se debe pasar al sistema B.

### TIPO B

Puede ser mayor o menor de 8 piezas de equipo. Servicio más crítico que en el tipo A. Su localización no es tan remota.

Los rangos de temperatura -- similares al tipo A.

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.

Un pequeño gabinete es generalmente usado. No se necesitan más cosas debido a -- que los controles son mínimos.

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

### TIPO C

Muchas piezas de equipo desde 8 hasta 70 ó 80.

Las temperaturas del ambiente pueden ser tan bajas -- desde 0 F hasta -10 F. Este es el sistema normalmente usado en las plantas petrolquímicas.

Casi todos los baleros de -- bolas utilizan niebla pura y muy pocos niebla purga. Todos las chumaceras utilizan la -- niebla purga. Todos 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.

Una consola grande es utilizada en donde se encuentran todos los controles y alarmas

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.

### TIPO D

La misma cantidad de -- equipo que en C.

Temperatura del ambiente -- hasta de -40 F. Estos sistemas son utilizados en -- regiones de clima frío extremoso.

Igual que Tipo C.

Igual que Tipo C.

Mismos controles y alarmas que los del tipo C.

#### TIPO A

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 no deben ser inclinadas hacia el generador.

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.

No se necesita ninguna unidad de respaldo, debido a que el sistema es manual.

No existen controles pues no hay unidad de respaldo.

#### TIPO B

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.

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.

La unidad de respaldo no es normalmente requerida. Si un número de bombas utiliza niebla pura y algunas de ellas respaldo será requerida.

No se necesitan controles para la unidad de respaldo, ya que solo se utiliza en casos de emergencia. Lo único que se requiere un manómetro de la presión de la niebla, un regulador de la presión del aire y un tubo de nivel.

#### TIPO C

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 este protegida o cubierta.

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.

La unidad de respaldo es requerida. Debe ser capaz de proporcionar el mismo volumen que la unidad principal. Ser completa ó solo 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.

La operación de la unidad de respaldo es enteramente manual. Se requieren los mismos aditamentos que en el tipo B.

#### TIPO D

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.

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.

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.

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.

las necesidades del cliente en cuanto control del sistema y de los aspectos financieros del mismo. Se concluye pues, que ésta selección es un criterio del diseñador y que por lo tanto no hay reglas para ello aunque tener algunas guías son siempre de gran ayuda. La tabla 6.3 nos muestra los cuatro tipos de sistemas con algunas características importantes.

Dependiendo del tipo de fabricante son las consolas que se pueden ofrecer a cada requerimiento. Nuestro propósito no es mostrar los equipos sino dar guías de diseño; sin embargo, para la persona que esté interesada en conocer más acerca de estos equipos se puede referir al apéndice A en donde se encuentra información y estándares de los mismos, así como aplicaciones típicas de cada uno.

### **Diseño del sistema de distribución.**

Hemos llegado con este punto al último paso en donde el lector podrá decir, al finalizar de leer este apartado, que está capacitado para empezar a diseñar un sistema de lubricación por niebla. El sistema de distribución es en sí la última parte esencial del sistema, ya que a partir de él la niebla generadora es aplicada al punto necesario a lubricar. En el capítulo IV se han dado ya todos los detalles de diseño principales para el sistema de distribución, por lo que no los repetiremos aquí. En las siguientes esquemas mostraremos los estándares de diseño al seleccionar la tubería, conexiones y accesorios, aunque se debe recordar que todo el diseño del sistema dependerá también de:

- a) La distribución del equipo en la planta que va a ser colocado el sistema por niebla.
- b) Los requerimientos del cliente: si se quiere establecer un sólo sistema ó varios de menor capacidad.
- c) La distribución de los sistemas de tubería existentes en la planta, tales como de servicio, de proceso, de energía, etc.
- d) De la localización de la fuente de suministro de aire, generalmente una línea de servicio.
- e) De la localización de la fuente de energía eléctrica.

Tomando entonces en cuenta estos factores, veamos ahora las guías de diseño del sistema de tuberías.

**Estándares utilizados en el sistema de distribución al diseñar un sistema de lubricación por niebla.**

Estos estándares los analizaremos por medio de figuras y en cada una de ellas daremos las explicaciones convenientes. Todos estos puntos son los relacionados a las conexiones de los elementos de tubería y sus especificaciones son basadas en estudios realizados respecto a la presión de trabajo que se tiene.

La siguiente tabla nos muestra los materiales a utilizar en el sistema de distribución así como algunos requerimientos especiales:

COMPONENTE	MATERIAL	REQUERIMIENTOS
Tubería.	Acero galvanizado. Ramales de 3/4 in de diámetro.	Cédula 40.
Accesorios.	Acero galvanizado.	Diseñada a 150 psi.
Válvula de presión.	Acero al carbono.	-----
Válvula de bloqueo.	Cobre.	Tipo CA-1300.
Tubing.	18 Cr 8 Ni tipo 304 ó 316.	Diámetro externo de 1/4 in, con espesor de pared de 0.035 in

**Requerimientos necesarios para la tubería utilizada en el sistema de distribución.**

1.- Al cortar la tubería que vaya a ser utilizada se deberá tener cuidado en sus extremos para que el diámetro interno no sufra modificaciones.

2.- A menos que sea especificado de modo contrario, toda la tubería deberá ser soportada en la planta por articulaciones visibles. Se puede utilizar tubería subterránea siempre y cuando se asegure que se tiene una pendiente adecuada y que no hay posibilidad de colocarla en forma visible.

3.- Cada tramo de tubería y accesorios de ésta, deberán ser limpiados antes de hacer cualquier conexión. Se tendrá extremo cuidado para mantener todos los interiores de la tubería y





tubing limpios.

4.- Ni las cintas PTFE u otros sellantes deberán ser utilizados al hacer las conexiones roscadas de la tubería. En su defecto se utilizará un lubricante convencional.

5.- Todos los ramales y tuberías principales deberán ser colocados con una pendiente dirigida a la consola generadora. El estándar de la pendiente se tomará según los datos dados en este libro, aunque se podrá tener como referencia el tomar esta pendiente como una unidad por cada 120 unidades en los primeros 15 metros, para luego tener una unidad por cada 10 en los subsiguientes tramos. Se tendrán mayores pendientes cuando las temperaturas sean menores de 0 F. Los drain legs sólo serán utilizados en casos donde no exista la posibilidad de evitarlos y se deberán de diseñar según las normas expuestas anteriormente.

6.- Todas las conexiones realizadas al ramal principal serán hechas siempre dirigidas verticalmente hacia arriba.

7.- Los ramales secundarios y tubings serán soportados por ángulos de acero cuando sea necesario.

8.- Los soportes a utilizar en la tubería deberán estar sujetos a estructuras fijas o a sistemas de tuberías ya existentes en las plantas. Estos soportes deberán ser de acero galvanizado.

9.- Los tubing serán instalados de tal manera que eviten que el aceite quede atrapado en ellos, por lo que serán utilizados tubos curvados en vez de codos y otros accesorios.

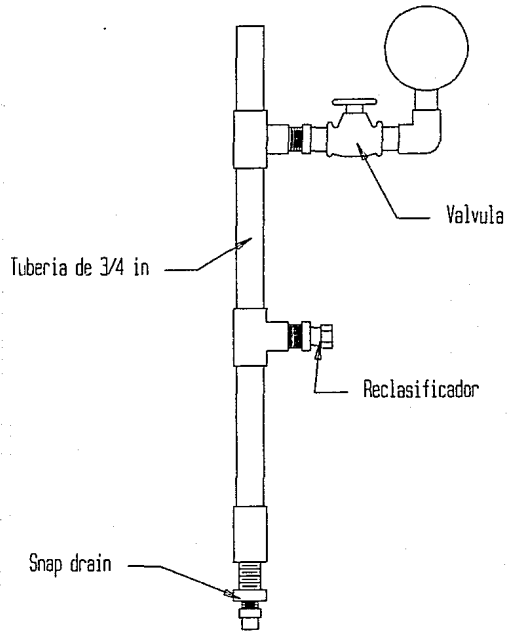
10.- Todos los accesorios de niebla y tubing colocados entre los múltiples y las conexiones del ramal principal, ó entre los múltiples y los puntos a lubricar deberán cumplir las siguientes normas:

a) Se instalarán los accesorios sólo después de que se haya limpiado y soplado la tubería principal. Los tapones y válvulas de bloqueo sólo se utilizarán temporalmente para limpiar una rama a la vez.

b) Se removerán los tapones y se colocarán los accesorios de niebla, en donde los múltiples vendrán acompañados de una botella de dren ó de una válvula de vaciado.

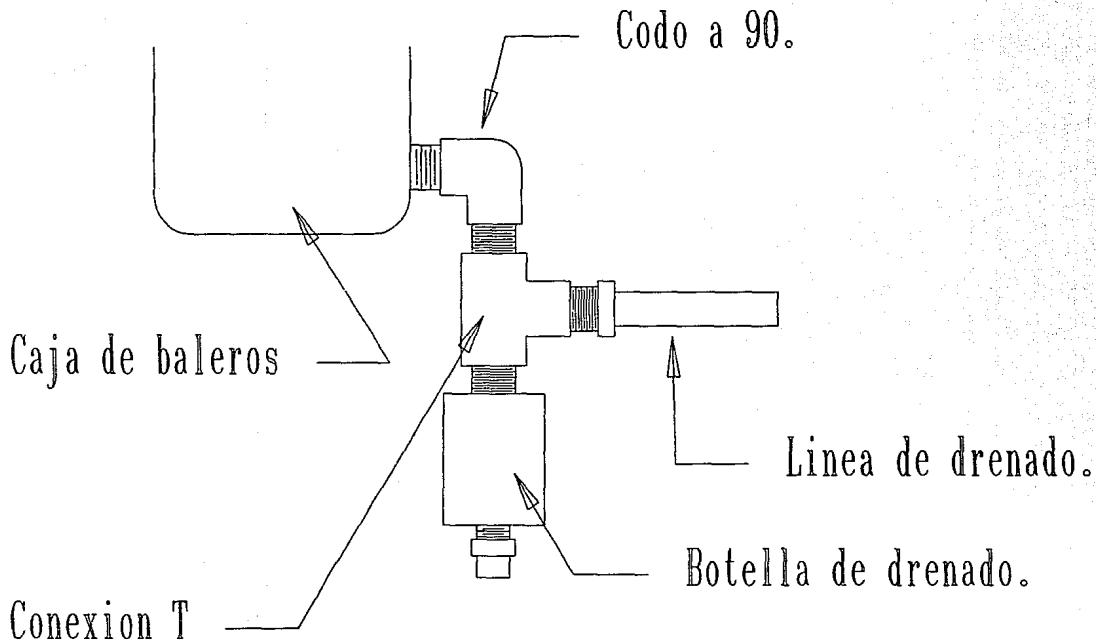
c) Se harán las conexiones al equipo a lubricar después de cumplir el limpiado de la tubería y que los accesorios hayan sido colocados correctamente.

11.- Los tapones colocados en los equipos a lubricar serán quitados, y en su lugar se colocarán sistemas de drenado,

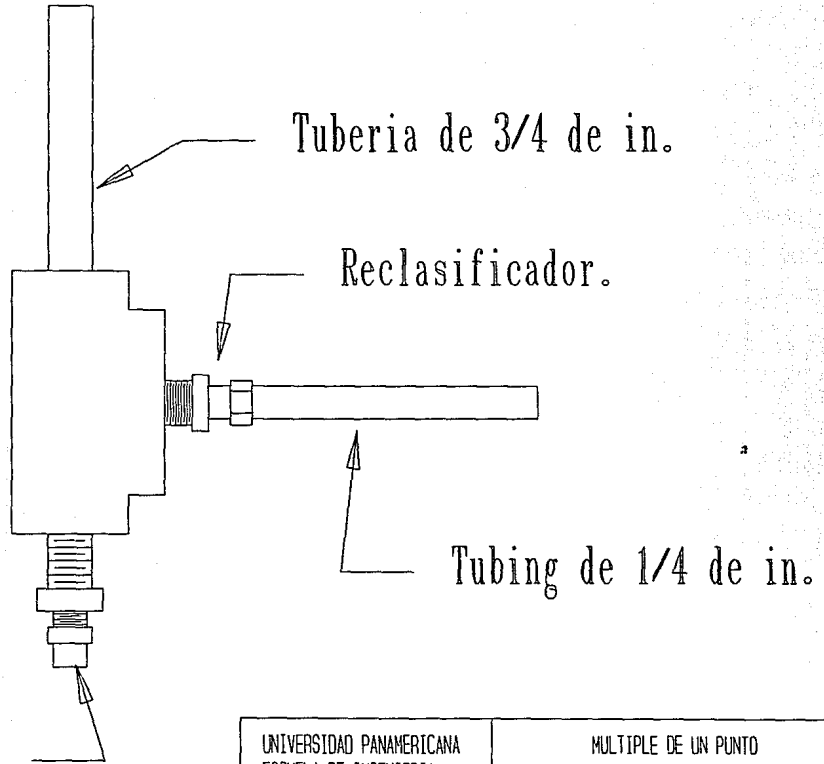


UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESCUELA DE INGENIERIA	DETALLE DE INSTALACION		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseno: Miguel Uribe Castillo		Dib. No. 2

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

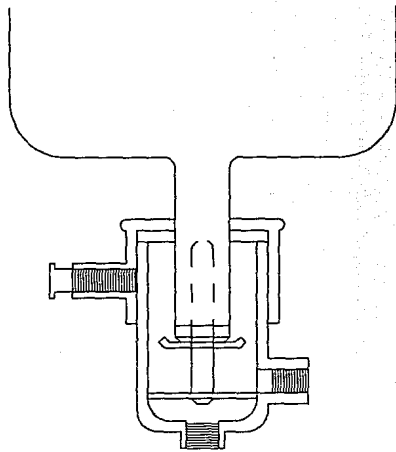


UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESCUELA DE INGENIERIA	DETALLE DE INSTALACION		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseno: Miguel Uribe Castillo		Dib. No 6



UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESCUELA DE INGENIERIA	MULTIPLE DE UN PUNTO		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseno: Miguel Uribe Castillo		Dib. No 4

# Caja de baleros.



UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESCUELA DE INGENIERIA	SISTEMA DE DRENADO PARA NIEBLA PURGA		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseno: Miguel Uribe Castillo		Dib. No 9

después de que todos los pasos anteriores hayan sido cumplidos. Realizado esto se podrá empezar a inyectar la niebla a todos los equipos.

12.- Los sistemas de drenado se colocarán según los estándares dados en este capítulo y se deberá cumplir que su vaciado se realice ya sea manualmente o se tenga un sistema de dren dirigido hacia una línea de drenado.

## CAPITULO VII

---



## CAPITULO VII

### Ejemplo de un sistema de lubricación a base de niebla.

#### Introducción.

Después de haber revisado todos los conceptos acerca de la lubricación de niebla, tanto teóricos como de diseño, hemos llegado al punto en donde debemos poner en práctica dichos conocimientos. En el presente capítulo se desarrollará un ejemplo completo de la adaptación de la lubricación por niebla a una sección de una planta determinada. Empezaremos por la presentación de los requerimientos del cliente, las características del equipo a lubricar, los cálculos necesarios para la elección del cabezal y re clasificadores y por último se dará el diseño de la instalación.

Antes de iniciar debemos señalar algunos aspectos importantes:

a) Toda la información respecto a especificaciones, requerimientos y cálculos mostrados en esta sección corresponden a un proyecto real. Sin embargo, no deberá tomarse este proyecto como regla a seguir en cuanto al diseño, debido a las variadas especificaciones y requerimientos que cada proyecto encierra. El lector debe comprender que este ejemplo es sólo una solución a un proyecto específico.

b) El presente ejemplo ha sido modificado en cuanto a las especificaciones del equipo para mejorar el aspecto didáctico que se desea dar en este capítulo. Por lo que respecta a las requerimientos, éstas no han sufrido ninguna modificación.

c) Suponemos que el lector tiene las bases que se llevan a cabo en el diseño de ingeniería, por lo que en el desarrollo del ejemplo se darán los aspectos en forma específica y sin mayores detalles, ya que estos han sido cubiertos de manera amplia anteriormente.

d) De existir alguna duda respecto a algún punto dentro de la exposición del ejemplo es recomendable que se remita al capítulo en donde se explicó ese punto. La intención de esta tesis es eliminar esas dudas y proveer bases suficientes para el diseño de los sistemas por niebla.

## **Presentación del problema : requerimientos del cliente.**

A continuación se muestra la lista de materiales y requerimientos para el proyecto en cuestión:

### **General**

La lista de materiales siguiente cubre los requerimientos mínimos para el diseño , materiales de construcción, inspección, pruebas y fabricación del equipo listado y es mandatoria para fines de diseño. En caso de que exista alguna contradicción entre lo que aquí se especifica y lo que se indica en los estándares, el proveedor deberá solicitar una aclaración por escrito por parte del comprador.

El cumplimiento de ésta lista no libera al proveedor de la responsabilidad de aplicar en la fabricación un diseño, mano de obra y materiales tales que el equipo funcione satisfactoriamente bajo las condiciones normales de diseño que aquí se especifican. El proveedor deberá informar por escrito al comprador de cualquier modificación que considere necesario hacer al respecto a fin de lograr que el equipo opere en forma satisfactoria.

### **Condiciones de operación.**

El propósito de sistema de lubricación por niebla es el de tener una fuente de lubricación de aceite de niebla para la casa de bombas de la nueva planta de acetato de vinilo monómero vía etileno de Finsa; además se tendrá otro sistema de lubricación de la misma capacidad como respaldo.

Los dos sistemas deberán estar interconectados para que en caso de fallar alguno de ellos, el otro pueda entrar en operación en forma inmediata para mantener una adecuada lubricación en forma continua de las bombas de la planta.

La capacidad requerida de operación será la calculada según los datos del equipo de acuerdo a la tabla que se mostrará más adelante. La presión de operación del sistema de lubricación suministrado así como la red de distribución de la niebla de aceite y la de los reclasificadores de niebla deberá ser especificada por el proveedor del equipo.

El consumo de aceite por hora por la capacidad de operación del sistema deberá ser establecido por el proveedor del equipo. El consumo de aire para la capacidad de operación deberá estar en concordancia con el consumo de aceite anteriormente especificado. Se deberá además, especificar la cantidad de aire requerido para la generación de la niebla y para su instrumentación ( en caso de ser necesario), así como la recomendación del tipo de aceite a ser usado.

Las condiciones de operación del aire disponible para el sistema de lubricación son:

- a) Presión : 100 psig.
- b) Temperatura : 100 F
- c) Calidad : seco.

#### **Datos de diseño y construcción.**

El equipo suministrado deberá ser diseñado para instalarse en un ambiente marino. Los sistemas de lubricación deberán operar satisfactoriamente para el servicio requerido a las condiciones especificadas en la lista de materiales.

El proveedor deberá suministrar el equipo con una capacidad de diseño de 1000 BI, especificando las condiciones de operación para la capacidad real requerida y para la de diseño. A futuro se conectará el sistema de lubricación nuevo con la red de distribución de niebla del área de ácido acético diluido y anhídrido acético, la cual tiene un sistema con una capacidad de 300 BI. El diseño del sistema de niebla será de acuerdo a la recomendación del proveedor para el servicio requerido, y tendrá como componentes mínimos:

- a) Filtro de aire.
- b) Regulador de presión.
- c) Manómetro.
- d) Generador de niebla.
- e) Reclasificadores de niebla.
- f) Alarmas por bajo nivel en el recipiente.
- g) Alarma para baja y alta presión.
- h) Válvula de seguridad.

En general se requerirá del proveedor una instrumentación que permita una operación segura y adecuada del sistema.

La instalación y supervisión de la instalación del sistema se determinará de acuerdo a las condiciones que se especifiquen por parte del proveedor y comprador. Las pruebas del sistema de lubricación serán aceptadas en el complejo Finsa de Pajaritos, Veracruz.

#### **Garantía.**

Se deberá proporcionar al comprador una garantía por escrito que avale un periodo de doce meses después del arranque del equipo o veinticuatro meses después de la fecha de embarque, lo que ocurra primero. en dicha garantía se cubrirá el equipo suministrado y todas las partes del mismo contra defectos de materiales, mano de obra ineficiente o un diseño incorrecto.



**Características del equipo a lubricar y cálculos necesarios para la selección.**

El equipo mostrado en el plano anterior se refiere en su totalidad a bombas. La lubricación a la que han sido sometidas dichas máquinas es la de bañado. Así, la elección del tipo de niebla a utilizar será la niebla seca, para lo cual es necesario conocer las características de los baleros utilizados en dichos equipos. Se mostrará a continuación una lista del equipo, así como las características de los baleros que lo conforman:

<b>EQUIPO</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>POTENCIA</b>	<b>TIPO DE BALERO</b>	<b># HILERAS</b>
B-85	3600	2.0	629	3
B-101	3600	3.0	61801	3
B-104	3500	7.5	6302	3
B-120	3550	3.0	61801	3
B-130	3600	5.0	6302	3
B-140	3550	3.0	61801	3
B-151A	3600	3.0	61801	3
B-151B	3600	5.0	6302	3
B-201A	3600	3.0	61801	3
B-225	3600	5.0	6302	3
B-226	3600	7.5	6302	3
B-229	3600	7.5	6302	3
B-260	3600	15.0	61810	3
B-315	3600	7.5	6302	3
B-316	3600	7.5	6302	3
B-317	3600	3.0	61801	3
B-318	3600	2.0	629	3
B-556	3600	3.0	61801	3
B-605	3600	3.0	61801	3
B-611	3600	7.5	6302	3
B-657	1750	15.0	61805	3
B-658	1750	15.0	61805	3
B-659	1750	13.0	61805	3
B-660	1750	13.0	61805	3
B-661	1760	30.0	61806	3
B-662	1760	30.0	61806	3
B-663	3600	2.0	629	3
B-664	3485	10.0	61803	3
B-669	3600	5.0	6302	3
B-670	3485	3.0	61801	3
B-671	3485	3.0	61801	3
B-672	3600	5.0	6302	3
B-677	3600	3.5	6302	3
B-678	1725	0.25	629	3
B-680	1725	0.25	629	3
B-682	3600	2.0	629	3

B-683	3450	15.0	61804	3
B-701	3600	7.5	61802	3
B-737	3450	10.0	61803	3
B-740	3450	10.0	61803	3
B-750	3500	15.0	61804	3
B-751	3500	15.0	61804	3
B-752	1750	10.0	61804	3
B-753	1750	10.0	61804	3
B-755	1750	20.0	61805	3
B-756	1750	20.0	61805	3
B-757	3600	10.0	61803	3
B-758	3600	3.0	61801	3
B-759	3460	15.0	61804	3
B-760	3460	15.0	61804	3
B-761	1750	0.25	629	3
B-762	1750	0.25	629	3
B-763	3600	3.0	61801	3
B-764	3600	7.5	61802	3
B-767	3600	7.5	61802	3
B-769	3540	10.0	61803	3
B-780	3510	10.0	61803	3
B-781	3600	1.5	629	3
B-782	1750	0.25	629	3
B-783	3600	1.5	629	3
B-784	1750	0.25	629	3

-----

donde la potencia está en HP, la velocidad en RPM y el número de balero es el estándar (manual de SKF).

De la tabla anterior se pueden calcular los BI necesarios para cada bomba. Por ejemplo, para la bomba B-769:

El balero 61803 tiene un diámetro de 17 mm ó 0.68 in. Por lo tanto los BI requeridos son  $3 \cdot (0.68)$  o sea, 2.04 BI. El reclasificador que proporciona los BI requeridos está entre el 500 (1 BI) y el 501 (3 BI); se selecciona por lo tanto el reclasificador 501, el cual es el inmediato superior. Este procedimiento se realiza para cada una de las bombas para luego hacer los cálculos totales.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los cálculos de los reclasificadores para cada equipo.

TIPO DE RECLASIFICADOR	BI	EQUIPO
77-800-500	1	B-678, B-680, B-761 B-762, B-781, B-782 B-783, B-784.

77-800-502	3	B-260, B-661, B-662
77-800-501	6	El resto del equipo no contemplado en los 2 puntos anteriores.

Realizados los cálculos anteriores podemos obtener el consumo total de aceite y aire:

a) Consumo de aire.- viene dado por los scfm totales. De la tabla anterior calcularemos entonces los BI totales:

$$\begin{aligned} \text{BI tot} &= 50 \text{ reclasificadores } 501 * 3 \text{ BI/reclasificador } 501 \\ &+ 8 \text{ reclasificadores } 500 * 1 \text{ BI/reclasificador } 500 \\ &+ 3 \text{ reclasificadores } 502 * 6 \text{ BI/reclasificador } 502 \end{aligned}$$

por lo que, BI tot. = 176 BI.

Utilizando el factor del 25 % más para el cálculo de los BI totales, tenemos que BI tot = 220 BI. Como 1 BI es igual a 0.03 SCFM tenemos que SCFM tot = 6.6 SCFM. Enrtonces, el gasto total de aire será de 6.6 pies cubicos por minuto (0.19 metros cubicos por minuto).

b) Consumo de aceite.- dado que 1 SCFM es equivalente a 0.65 pulgadas cubicas de aceite por hora, tenemos que:

$$6.6 \text{ SCFM} * (0.65 \text{ in cubicas de aceite por hora/SCFM}) = \text{Gasto de aceite.}$$

lo que es igual a 4.29 pulgadas cubicas de aceite por hora o en sistema internacional, 7.03 exp (-5) metros cubicos por minuto.

### Selección de la consola generadora y cabezal.

Dados los requerimientos del cliente y según la tabla del capítulo sexto, tenemos que la consola debe ser del tipo C. La única razón por la cual no se eligió una consola del tipo D es que el lugar donde este proyecto se va a llevar a cabo no tiene temperaturas ambientales que tengan mínimos de -40 F. El lector puede consultar dicha tabla y verificar que dispositivos debe contener la consola para cumplir con los requerimientos del tipo C. Al hacer lo anterior, nos damos cuenta que todos los requerimientos del cliente de este proyecto son satisfechos, en cuanto a la consola, de forma general. ¿Cómo saber que consola en específico se debe utilizar si no existen datos acerca de las mismas?. La respuesta a esta pregunta la

haremos en dos partes:

- Este trabajo es una guía general en cuanto a los sistemas de lubricación por niebla. Por lo tanto para obtener datos específicos de los equipos el lector deberá investigar con los diversos fabricantes existentes en el mercado.

- Por las facilidades de Lubrimist Co. y Sicelub, fue posible conseguir las especificaciones del equipo a utilizar en este proyecto. En caso de existir algunas dudas del mismo, dichas compañías son las únicas autorizadas para resolverlas.

Se eligió para este proyecto la consola modelo SSV la cual, en forma resumida, tiene las siguientes características:

a) Las siete variables principales son monitoreadas por medio de un CPU electrónico.

b) Se tienen sensores electrónicos para la temperatura del aire y aceite, presión de entrada y salida, así como el nivel de aceite en el tanque de la consola.

c) Alarmas programables para el control eficaz de las variables anteriores según estándares para estos sistemas.

d) Consola de respaldo para situaciones en donde la consola principal no este en posibilidades de suministrar la niebla de aceite al sistema.

En las siguientes figuras se muestran los esquemas correspondientes a esta consola junto con su unidad de respaldo. También se muestra el tanque de almacenamiento del aceite el cual deberá colocarse al lado de la consola para el llenado inmediato del tanque de la misma cuando este no tenga el nivel requerido.

Pasemos ahora a la selección de la cabeza generadora. Aquí tendremos en consideración que el consumo total de BI (220) está entre las cabezas de 100 y 300 BI. Debemos recordar que cada cabeza actúa eficientemente a una presión determinada y ésta está determinada por la capacidad de la misma. El utilizar un cabezal de 300 BI para producir los BI requeridos implica que la utilización real de la cabeza generadora es del 73.3 %. La consecuencia que trae consigo el utilizar este cabezal es que no estará operando en la parte superior de su curva de eficiencia respecto a la presión, sino a un nivel inferior; se tienen por lo tanto algunas pérdidas tanto de aceite como de aire. Esto, sin embargo, es preferible a tener que utilizar dos o más consolas para cubrir toda la sección del proyecto, lo cual resulta más costoso y quita la gran ventaja de un sistema por niebla, como es la centralización de todos



los equipos al simple monitoreo de una sola consola. Así, el cabezal elegido para la consola SSV será el de 300 BI (77-000-036).

### **Diseño de la instalación del sistema.**

La parte final de este ejemplo se refiere al diseño de la tubería de distribución del sistema. Como cualquier diseño en ingeniería esta etapa es un arte: no hay normas específicas sino ciertas guías para facilitar la labor. El siguiente diseño cumple con los requerimientos tanto del cliente como los de diseño (vistos en capítulos anteriores). Se dará una justificación de la elección de dicho diseño, aunque siempre se deberán tomar en cuenta las siguientes bases:

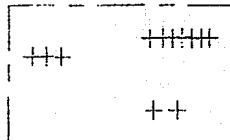
- a) Analizar cuales son los planes en específico para el sistema. A veces se desea diseñar el sistema sin conocer después que existen planes de expansión para el mismo.
- b) Ver ya en la planta cual debe ser el trayecto idóneo de la tubería, aprovechando las líneas existentes que se tengan en la sección a adaptar, pudiendo ser estas de servicio ó de proceso.
- c) Asegurarse de que existan líneas de aire y electricidad a la distancia requerida por el proveedor del sistema. Los tres puntos (a,b y c) determinarán la colocación de la consola en la planta.
- d) El sistema de distribución no debe ser complejo pero tampoco debe violar las normas establecidas si se prefiere la simplicidad. Se debe evaluar, cuando se requiera, si es necesario colocar más consolas más pequeñas en otras partes estratégicas de la planta considerando los factores de los costos y beneficios adquiridos (rentabilidad).

Veamos ahora el diseño. Del plano A observamos que existen 3 áreas a lubricar dentro de esta sección. lo primero a considerar es donde debe ser colocada la consola; en esta parte de la planta no existen líneas de tubería (parte abierta) de servicio sólo de proceso. En el plano B se muestra la tubería existente en la sección de estudio. Después de analizar los dos planos se observa que la consola tiene las siguientes posibilidades de colocación:

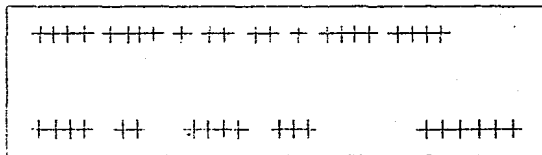
-Posición A: se pueden aprovechar los ramales existentes de la tubería de proceso. La desventaja que tiene es que su colocación central trae problemas de paso hacia personal y pequeños carros de transporte.

-Posición B: queda en una zona extrema de toda la sección a lubricar. Además de aprovechar los dos ramales existentes, se puede tener una ampliación hacia el lado norte de esta sección.

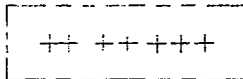
III



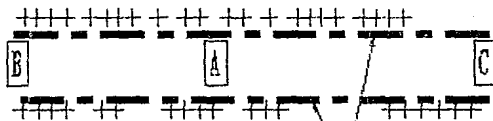
I



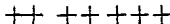
II



UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESUELA DE INGENIERIA	SELECCION DE AREAS		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por oleo	Diseno: Miguel Uribe Castillo		Dib No 13



Tuber las de proceso



UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESUELA DE INGENIERIA	POSICION DE LA CONSOLA		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseño: Miguel Uribe Castillo		Dib. No 14

Esta ampliación es un requerimiento de cliente a largo plazo por lo que la posición indicada trae muchas ventajas. La desventaja que implica es que para lubricar las otras dos áreas se deberán utilizar drain legs en los puntos finales de la tubería.

-Posición C: tiene las mismas características de la posición B sólo que no puede adaptarse el sistema para una expansión hacia el lado norte de la planta. En esta posición se podría eliminar un drain leg del área III debido a la cercanía que tiene hacia la consola.

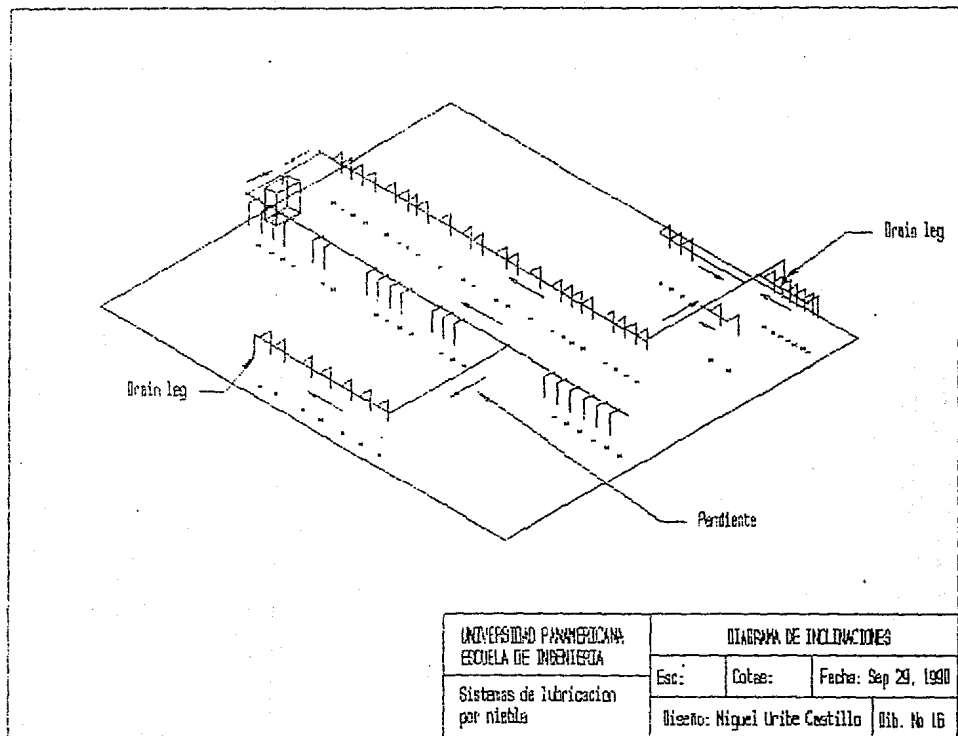
Al ver las ventajas y desventajas de cada posición se tiene que la posición B es la más idónea ya que a partir de ella la expansión que se quiera realizar hacia el lado norte será menos complicada. La localización de las fuentes de aire y energía eléctrica no constituyen ningún problema, ya que se encuentran en un área cercana a menos de 20 mts. Una vez elegida la posición de la consola, hablaremos un poco del sistema de distribución a partir de la misma. En primer lugar el área I será lubricada aprovechando los dos ramales de proceso que se tienen. La tubería del sistema en esta área deberán tener una pendiente dirigida hacia la consola. De cada punto en donde exista una bomba se tomará una T dirigida hacia arriba y se dirigirá con una tubería de menor diámetro hacia el equipo (ver la siguiente figura).

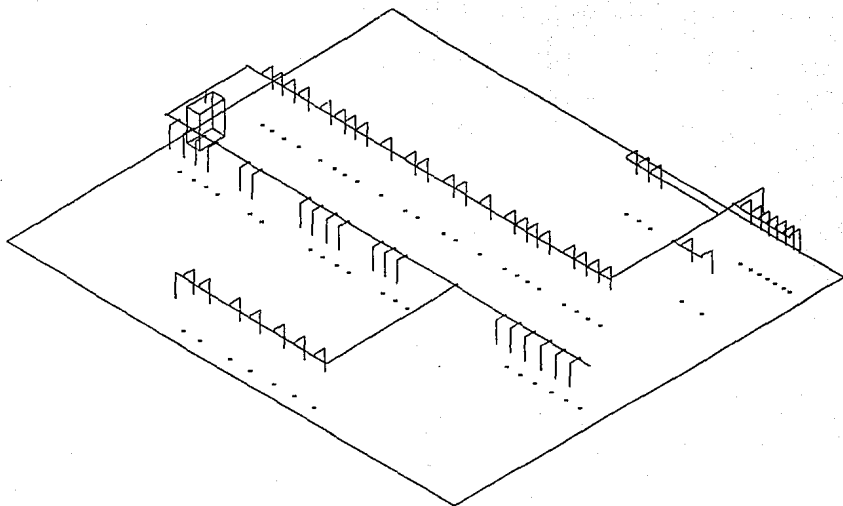
Para lubricar el área II se tomará una ramificación del ramal principal A con una pendiente dirigida hacia esta fila de bombas. El ramal que lleve la niebla al área II deberá tener una pendiente dirigida hacia el lado norte. La parte final de este tendrá un drain leg para acumular el aceite que escurra a través del mismo.

El área III tendrá las mismas características del ramal del área II, ya que se tendrá una ramificación del ramal principal B con una pendiente dirigida hacia el este, en donde se colocará un drain leg en su parte final. De este ramal se tendrán tres derivaciones para las tres filas de bombas que se tienen en esta zona. Cada derivación deberá tener una pendiente dirigida al subramal o ramificación hecha del ramal B.

Tanto en las áreas II y III, de las subramales se sacarán derivaciones para cada equipo a lubricar, con las mismas anotaciones hechas para el área I.

El diseño de la instalación completa se muestra en el plano C. Como primera observación nos debemos dar cuenta que todos los comentarios acerca del sistema de distribución han sido realizados en el plano. Se tienen dos ramales principales a partir de la consola y de ellos parten subramales para lubricar las otras dos áreas. En este plano hemos omitido por





UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESCUELA DE INGENIERIA	INSTALACION DE SISTEMA		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseno: Miguel Uribe Castillo		Dib No. 12

facilidad la colocación de las tuberías de servicio, dejando solo la tubería referente al sistema de distribución. Haremos algunas anotaciones respecto al diseño expuesto:

a) Para cada bomba se ha colocado una "T" dirigida hacia arriba y a partir de ella lubricar al equipo (ver dibujo # 1). ¿Por qué no utilizar una sola T para que a partir del múltiple conectar un tubing y dirigirlo a las bombas cercanas? . Esto no se realizó debido a que la distancia entre bomba y bomba es de aproximadamente 1.2 mts, y al colocar el tubing a partir de un sólo múltiple su longitud sería demasiado larga, ocasionando que en el trayecto del múltiple a la bomba existieran condensaciones del aceite lo cual no es permitido. Es preferible entonces colocar una derivación del ramal y subramal, según el área que se trate, para lubricar cada equipo. Lo anterior ofrece una ventaja adicional: si se quisiera lubricar después el motor que acciona a la bomba lo único que se tendrá que realizar es conectar un tubing del reclasificador, (colocado en el múltiple), hacia el motor sin tener que modificar el sistema de distribución.

b) Las pendientes van dirigidas hacia los lugares en donde existe la consola o un drain leg. Se ha tomado las pendientes con la regla de una pulgada cada 20 pies.

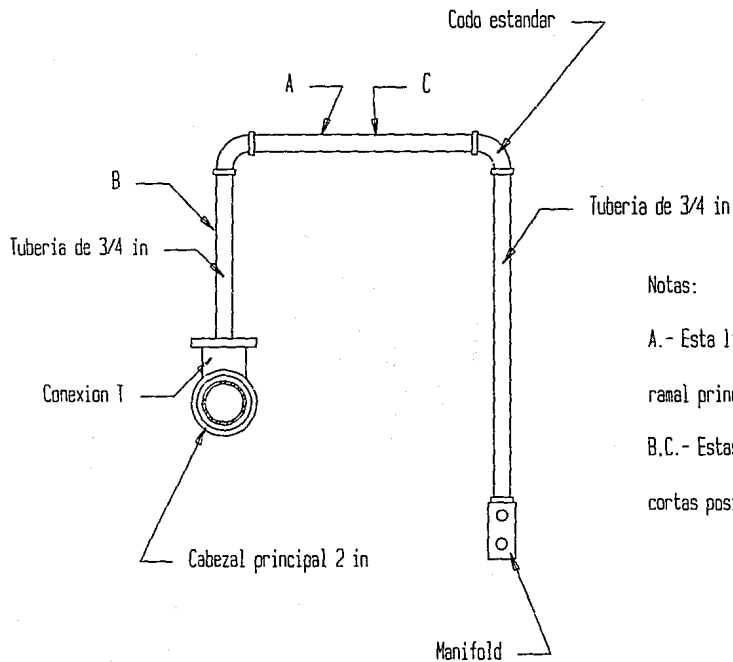
c) Respecto al material: confrontar la lista de materiales dada en el capítulo VI.

d) La altura que se debiera tener en los drain leg será la indicada en el capítulo VI.

e) La altura de los múltiples de distribución se muestra en los siguientes esquemas.

f) La manera de sujetar la tubería de distribución a los soportes de tubería existentes dependerá de las normas que cada cliente tenga en su planta. De la manera en que sea colocado el sistema de distribución dependerá en gran medida la efectividad de todo el sistema de lubricación por niebla.

g) El último paso que se lleva después es el dar la lista de materiales necesaria para la instalación. Dicha lista involucra tanto los materiales propios de la instalación como los de la consola y accesorios. En el apéndice B se muestra la lista de materiales para el proyecto en estudio. El cálculo de esta lista no resulta difícil, ya que de cada equipo a lubricar ya se tienen los materiales necesarios que componen sus completa lubricación. Las cantidades que varían en estas listas son función entonces de la cantidad de equipo que se quiera lubricar y de la manera en que estén distribuidos.



Notas:

A.- Esta línea debe ser inclinada al  
ramal principal

B.C.- Estas líneas deben ser lo mas  
cortas posibles.

UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESCUELA DE INGENIERIA	DETALLE DE INSTALACION		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseno: Miguel Uribe Castillo		Dib. No 1



Reclasificador.

Tuberia de 3/4 in.

Tubing 1/4 in.

Snap Drain

UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
ESCUELA DE INGENIERIA

MULTIPLE DE VARIOS PUNTOS

Esc:

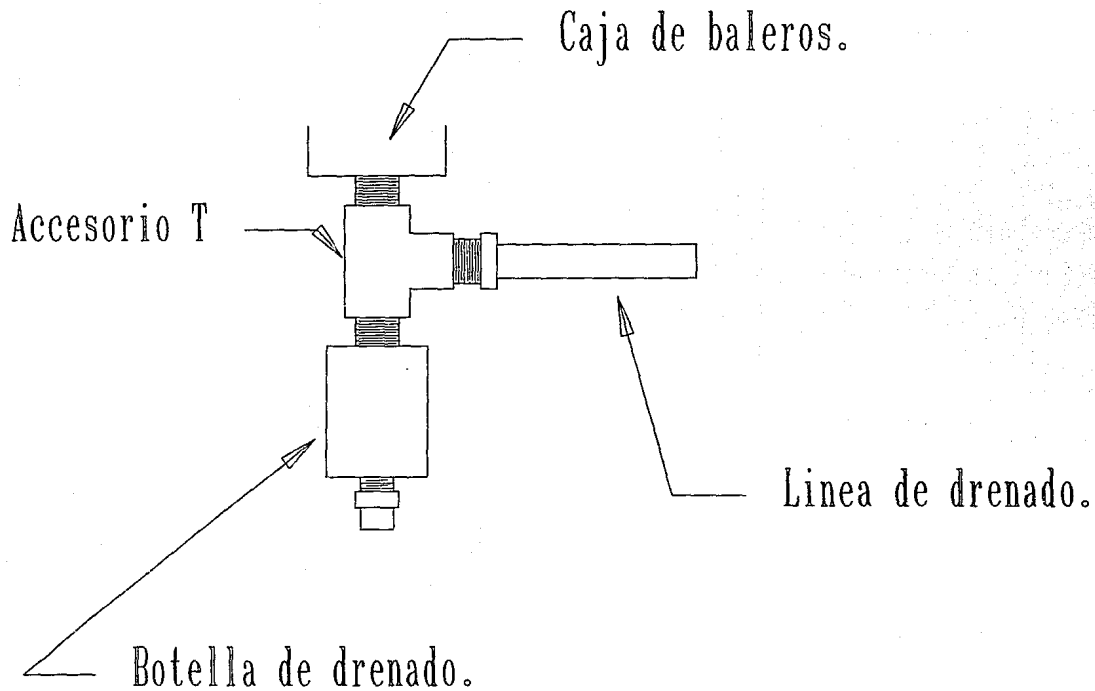
Cotas:

Fecha: Sep 29, 1990

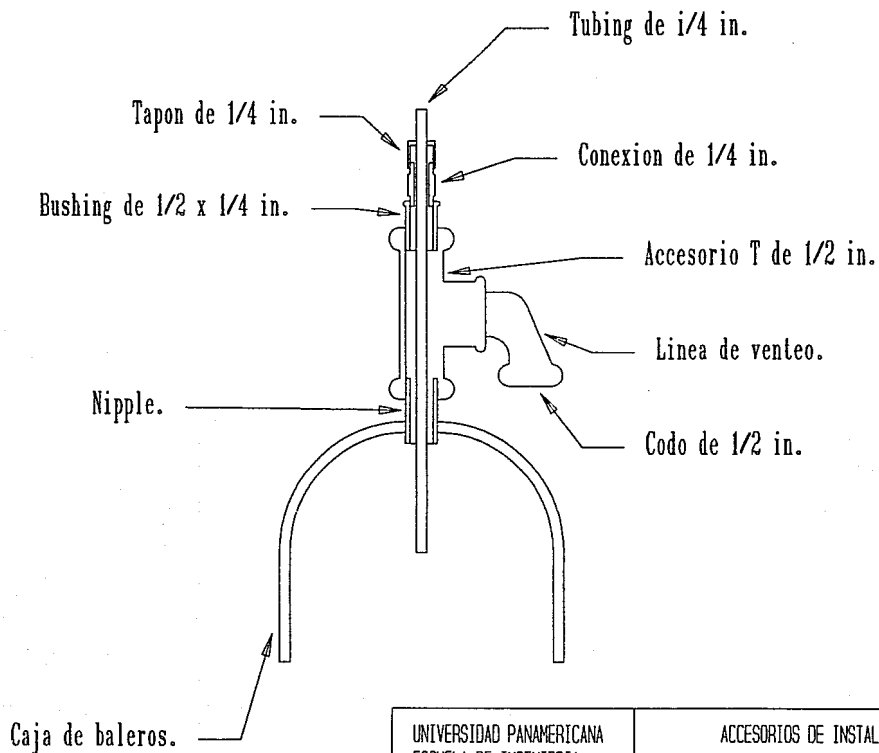
Sistemas de lubricacion  
por niebla

Diseño: Miguel Uribe Castillo

Dib. No 3



UNIVERSIDAD PANAMERICANA ESCUELA DE INGENIERIA	DETALLE DE INSTALACION		
	Esc:	Cotas:	Fecha: Sep 29, 1990
Sistemas de lubricacion por niebla	Diseño: Miguel Uribe Castillo		Dib. No 5



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
ESCUELA DE INGENIERIA

Sistemas de lubricacion  
por niebla

ACCESORIOS DE INSTALACION

Esc:

Cotas:

Fecha: Sep 29, 1990

Diseño: Miguel Uribe Castillo

Dib. No 8

Con ésto hemos terminado el diseño de un sistema de lubricación por niebla. Parece ser sencillo, y en realidad lo es, solo que no hay que perder de vista que para su realización se necesita algo de tiempo. El visitar la planta, tomar los datos del equipo, analizar como se puede aprovechar los ramales de tubería existentes, tener luego un posible esquema del diseño para que el cliente lo apruebe y por último dar el diseño final, para después calcular todo el lote de tubería y accesorios que se requieren, puede tardar de 2 a 3 meses si se tiene contacto sin interrupciones. Si lo anterior añadimos todas las negociaciones que se tienen que observar por protocolo, el tiempo puede alargarse hasta un año. Por esto un diseño de este tipo de instalaciones ya después de algo de practica es sencillo y a veces se tienen ya estándares de diseños. Sin embargo, nunca debe olvidarse que cualquier diseño debe ser revisado a fondo, sin importar que sea parecido a otros; cada proyecto tiene sus particularidades y gracias a ellas es que el diseño de estos sistemas no tenga que convertirse en algo monótono.

## CAPITULO VIII

---

## CAPITULO VIII

### **Operación y mantenimiento general del sistema.**

En este capítulo daremos las guías indispensables y generales que deben ser cumplidas por cualquier sistema de lubricación por niebla. Veremos en primer lugar el procedimiento general para poner en marcha el sistema y después se darán las normas generales de mantenimiento y uso. Cada fabricante de estos sistemas deberá proporcionar un manual de operación según la consola a utilizar y en donde se especificará todos los requerimientos a detalle de lo que se explica en esta sección. Para mayor detalle de estos manuales se puede consultar la bibliografía.

#### **Puesta en marcha del sistema.**

Antes de poner en marcha el sistema, después de que ha sido instalado bajo las normas de diseño, se tendrá en un principio que limpiar. Así, un vapor con una presión de 100 psig. deberá ser alimentado al sistema de distribución. Este flujo de aire tendrá un tiempo mínimo de un hora y se dejará de suministrar hasta que no se observe ninguna muestra de orificios, generados por impurezas del sistema, en una placa de aluminio pulida colocada en el punto más distante del sistema de distribución.

Después de que haya sido hecho lo anterior, el sistema podrá ser ya puesto en marcha si se cumplen las siguientes normas:

- 1.- Llenar el tanque de reserva de aceite y el tanque de la consola con el lubricante seleccionado.
- 2.- Conectar los suministros de energía eléctrica y de aire. Antes de poner en funcionamiento la consola, se deberá estar seguro de que todas las conexiones han sido realizadas conforme a los normas y que el sellado de la caja de conexiones este completamente seguro.
- 3.- El calentador de aire no deberá ser conectado hasta que el flujo de aire haya pasado por el mismo.
- 4.- Checar que todas las válvulas estén en su posición indicada. Si el equipo consta de una unidad de respaldo, se deberá asegurar que la válvula de bola entre la consola principal y el ramal de distribución esté completamente abierta. Una checada visual se deberá realizar para asegurarse que las válvulas de entrada del suministro de aceite al filtro así como también la válvula que conecta la fuente de aire al

regulador de la consola estén abiertas.

5.- Checar que todos los rodamientos tengan todos los puertos de llenado y de drenado del aceite libres de impurezas.

6.- Poner en funcionamiento la consola.

7.- Ajustar el regulador de la presión de aire para obtener la presión requerida en el sistema de distribución.

8.- Operar el sistema a una presión 20 pulgadas de agua para que todos los reclasificadores empiecen a limpiarse. Para que esta operación sea considerada completa, el sistema deberá trabajar un tiempo mínimo de 48 hrs., tiempo en el cual no se muestren pulsaciones en el ramal de distribución (presión de la niebla).

Realizado lo anterior, el sistema por niebla deberá ser puesto en marcha inmediatamente. Como se mencionó en el capítulo IV, cada consola deberá tener un control sobre las variables importantes a controlar para poder llevar así un seguimiento del sistema. Los estándares y valores de estas variables las veremos a continuación.

#### **Variables a controlar y sus valores estándar.**

Las variables a cuidar en cualquier tipo de sistema por niebla serán:

- a) La presión del suministro de aceite.
- b) La presión de suministro de aire.
- c) La presión del aire regulado.
- d) La presión de la niebla a la salida del cabezal generador.
- e) La temperatura del aire.
- f) La temperatura del aceite.
- g) El nivel de aceite en el tanque de la consola.

Los valores estándares para las variables anteriores se dan a continuación:

<b>Variable</b>	<b>Valor especificado</b>
Nivel de aceite normal.	Al nivel medio del tanque. Los niveles superior e inferior del nivel serán de 8 1/8" por encima del fondo del tanque y 1 5/8" desde el fondo del tanque respectivamente.

Presión de la niebla.	20 pulgadas de agua. El valor máximo de esta presión será de 30 in. de agua, mientras que el mínimo será de 10 in de agua.
Presión del suministro de aire	150 psi. como máximo y 25 psi como mínimo.
Presión de carga ó presión del aire regulado	La necesaria para dar la presión de 20 in. en el ramal. Generalmente sus valores están entre 15 y 55 psig.
Presión del suministro de aceite.	180 psi. como máximo y 10 psi como mínimo.
Temperatura del aceite.	El valor normal es de 110 F, siendo los valores máx y min. de 140 y 80 F respectivamente.
Temperatura del aire.	El valor normal es de 140 F, siendo los valores máx. y min. de 180 y 100 F respectivamente.

---

### **Guías de operación y mantenimiento.**

Esta sección está diseñada para dar datos específicos sobre la operación y mantenimiento de los sistemas por niebla. Aunque existan diferentes tamaños de cabezales y consolas generadoras, todas éstas tienen componentes similares y su función es idéntica.

Si un equipo esta siendo lubricado por niebla de aceite, es necesario asegurar constantemente la operación ininterrumpida de estos sistemas.

La operación diaria del sistema de niebla de aceite para el operador de la línea de proceso ha sido reducida al chequeo de la consola y del equipo que está siendo lubricado. Excepto en emergencias, los ajustes que se tengan que hacer a la consola serán mínimos ó nulos. Una vez que cada sistema ha sido instalado y balanceado, se asegura siempre un funcionamiento y



generación continua de niebla de aceite hacia los puntos a lubricar. Algún cambio en la presión de la niebla o en la presión de carga según los estándares, será un indicio de que algún componente ha fallado o no se han tenido rutinas de mantenimiento controladas. Si se realizan ajustes menores para corregir estos problemas sin verificar sus raíces, las consecuencias que se pueden encontrar pueden ser de mayores consecuencias que los problemas anteriores. Para evitar este tipo de problemas se deberá tener las siguientes rutinas de mantenimiento:

### 1.- Chequeo del sistema.

#### a) Chequeo de la consola generadora (cada turno).

##### i.- Checar la presión del sistema de distribución.

-Una baja presión puede indicar una fuga en el sistema, ya sea porque los reclasificadores han sido removidos de su posición o porque una línea está rota.

-Una presión alta puede indicar que los reclasificadores se han tapado o que la válvula de paso está abierta.

-Cambios en la presión del ramal pueden indicar bolsas de aceite en el mismo ó una entrada de flujo de aire no constante.

ii.-Checar que la presión de carga esté balanceada. Una vez que sea establecida en el momento de arrancar el sistema, no deberá ser cambiada por ningún motivo. Se deben tener las siguientes consideraciones:

-El generador no operará óptimamente a una presión menor de 10 psig.

- La presión de entrada del suministro de aire hacia la consola deberá ser 30 psig. mayor que la presión de carga.

iii.- Checar la temperatura del aceite.

iv.- Checar la temperatura del aire.

v.- Checar el nivel de aceite del recipiente.

vi.- Checar la estructura externa de la consola y del sistema de distribución anexo a la consola.

## b) Chequeo del equipo lubricado.

i.- Observar si existe fuga considerable de la niebla de aceite de los equipos.

ii.- Hacer una inspección visual del sistema de tuberías verificando si existe un diseño de pendientes apropiado, las conexiones no presenten fugas y que no existan líneas secundarias rotas por donde haya escapes.

iii.- Checar que los múltiples tengan tapados los barrenos en donde no está colocado un reclasificador.

iv.- Verificar el nivel de aceite de todas las botellas de drenado tanto de los múltiples, de los equipos a lubricar y de los drain legs. Es necesario asegurarse que estos aditamentos se cierren después de su drenado para evitar fugas y pérdidas de presión.

## 2.- Mantenimiento mensual del sistema

Se deberá tener un programa mensual de chequeo del sistema que incluirá:

i) Verificación del funcionamiento de la consola.

ii) Checar las señales de alarma y de operación normal.

iii) Checar el sistema de distribución para los drenados y fugas que pudieran existir.

iv) Verificar la posición de las válvulas tanto de las líneas de suministro como las que se localizan en el ramal de distribución.

v) Cuidar que la consola este libre de impurezas y de humedad.

## 3.- Chequeos periódicos (6 meses).

Este tipo de mantenimiento se hará para controlar específicamente todos los controles de la consola así como sus señales de alarma. Entre los puntos que se deberán cuidar se encuentran:

i) Cambio del filtro de aceite y de aire si es que existe.

ii) Chequeo de todas las señales de alarma, tanto de sus controles como de sus sensores.

iii) Inspeccionar y limpiar el interior del tanque de la

consola generadora.

iv) Hacer un chequeo profundo de todo el sistema de distribución: tuberías, conexiones, múltiples, reclasificadores, botellas de drenado, tubings, etc.

Por último, como se dijo al principio de este capítulo, se deberá tener un chequeo del sistema en particular de acuerdo al manual de operación para cada consola. Aunque en general no se tienen demasiados cambios respecto a los puntos anteriores, se deberá tener cuidado en cada aspecto en particular de los sistemas que esté especificado en cada manual. Un sistema de lubricación por niebla que no presente un adecuado programa de mantenimiento no proporcionará la lubricación adecuada para el que fué instalado en una planta.

## CAPITULO IX

---

## CAPITULO IX

### Aplicación a algunos equipos de la lubricación por niebla.

En este capítulo se explicará como la niebla puede ser aplicada a algunos equipos comunes en las plantas industriales. Del estudio realizado en el capitulo V, nos daremos cuenta que cualquier elemento rotativo y sistemas de transmisión por cadena serán ideales para la aplicación de este tipo de lubricación. De la experiencia de los fabricantes de estos equipos se ha comprobado que más del 90 % de las aplicaciones de estos equipos se centra en motores, bombas, cajas de engranes y sopladores o fans. Veamos las aplicaciones típicas de estos equipos y algunas consideraciones respecto a su adaptación al sistema.

#### Motores eléctricos.

Ha habido grandes controversias respecto a la aplicación de la niebla a los motores eléctricos. Sin embargo esto no debe ser ningún problema, ya que se ha comprobado que estos equipos tienen grandes beneficios al ser convertidos a este tipo de lubricación.

Como regla general, cualquier motor horizontal abierto o a prueba de explosión que tenga rodamientos de bolas y este localizado en una unidad que este siendo lubricada por niebla, (una bomba por ejemplo), deberá ser considerado para ser lubricado por niebla. Los motores verticales pueden ser también considerados para ser lubricados por niebla, pero cada motor debe ser considerado individualmente por los diversos diseños de las cajas de baleros. Así también, los motores WPI ó WPII con rodamientos de manguito pueden ser lubricados con niebla purga, siempre y cuando su aislamiento sea de teflón y el diseño del venteo esté en una zona aparte de la toma de aire del ventilador del motor.

Algunos fabricantes de motores ya han estado entregando estos con cajas de baleros especialmente diseñadas para la aplicación de la niebla, tales como los que se muestran en las figura 9.1. El mayor problema en los motores verticales es que debe ser proporcionado un barreno extra en la caja de baleros, preferentemente abajo del balero, para el condensado del aceite. Esto es necesario para eliminar el sobrenivel de aceite y evitar que la temperatura aumente abruptamente.

Las ventajas que se tienen al lubricar un motor con niebla de aceite son las siguientes:

- a) Reduce las pérdidas de fricción en los baleros.

- b) La temperatura de trabajo del balero es menor.
- c) Se aumenta la vida del balero.
- d) Los contaminantes externos son excluidos de la caja de baleros.
- e) Se obtiene una lubricación limpia y continua.
- f) El consumo de aceite es menor (cuando se utilice aceite en las cajas de baleros).
- g) Eliminación de los riesgos de una mala aplicación.

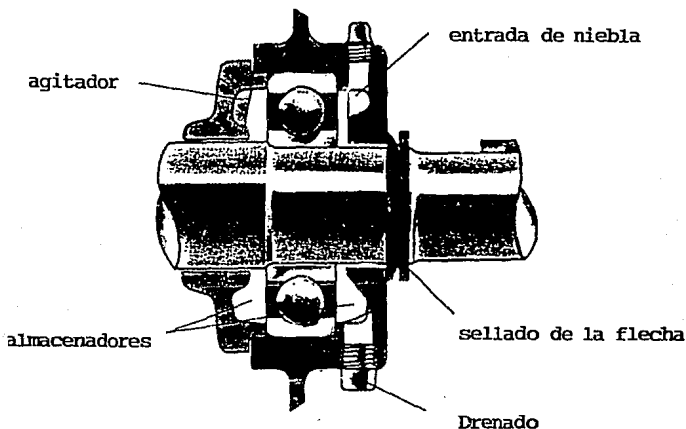


FIGURA 9.1

Existen algunos problemas cuando es necesario mantener lubricado al equipo antes de su instalación o en su misma transportación. Por ejemplo, un motor lubricado con grasa viene pre-empacado con grasa por lo que su lubricación y protección está asegurada. Un motor lubricado por niebla de aceite no trae consigo la cavidad empacada de grasa, por lo que este tipo de motores necesitará especial consideración. Para resolver este problema es posible que los motores que vayan a ser lubricados por niebla sean lubricados con un pre-empaque de grasa con un volumen del 10 % de la cavidad; un exceso en este porcentaje podría tapar las salidas para los drenes y venteos ocasionando problemas cuando se quisiera aplicar la niebla. Se debe también cuidar que al momento de ser transportado el equipo se evite la contaminación de polvos externos, por lo que los barrenos de entrada de la niebla y del dren deberán estar tapados.

Hasta ahora se ha tratado a la aplicación de la niebla a los motores y el modo en que se debe cuidar al motor cuando su caja de baleros esté diseñada para la aplicación de la niebla de aceite. Sin embargo, la mayoría de los motores existentes en las plantas no se encuentran en las condiciones óptimas para la

aplicación de la niebla, siendo entonces necesario realizar algunas adaptaciones a los mismos.

### **Adaptación de los motores existentes a la niebla de aceite.**

Normalmente, si el motor es lubricado por aceite y tiene baleros de manguito, se debe utilizar niebla purga, mientras que si se tiene baleros sencillos lubricados con aceite o grasa se deberá aplicar la niebla pura o inmersión en seco. Los pasos para convertir estos motores serán, para cada caso, los siguientes:

a) Para motores con baleros de manguito lubricados con aceite:

- Inyectar la niebla.
- Proveer los venteos necesarios.
- Hacer un barrenado a la altura indicada para eliminar el sobrenivel de aceite.

Esta es la más simple de las adaptaciones para los motores eléctricos, puesto que una vez que se proporciona la línea de la niebla, los venteos y el barrenado de nivel constante, la conversión ha sido realizada. Antes de hacer esto se debe estar seguro de que el aislamiento de los cables sea compatible con el aceite utilizado. Se debe utilizar siempre un reclasificador de tamaño pequeño para así proveer una presión lo suficientemente necesaria y el consumo de aceite sea mínimo. La línea de venteo debe ser dirigida hacia el borde de la base del motor, con el fin de que la niebla de fuga no circule a través del motor.

b) Para motores con rodamientos de bolas lubricados con aceite.

- Inyectar la niebla.
- Proveer el barrenado de drenado.
- Conectar el sistema de drenado (ver capítulo IV).

En este tipo de aplicación el aceite es drenado completamente de la caja de baleros. El sistema de drenado tiene dos funciones: provee un camino por donde el aceite líquido pueda ser drenado y además provee un camino para que la niebla pase a través de los baleros. Para este tipo de adaptación el sistema de drenado debe ser según la figura 9.2 ya que la presión que ejercen sobre la caja de baleros no es tan grande (presión de retorno) y por lo tanto no provoca que la niebla pase a través de los devanados del motor.

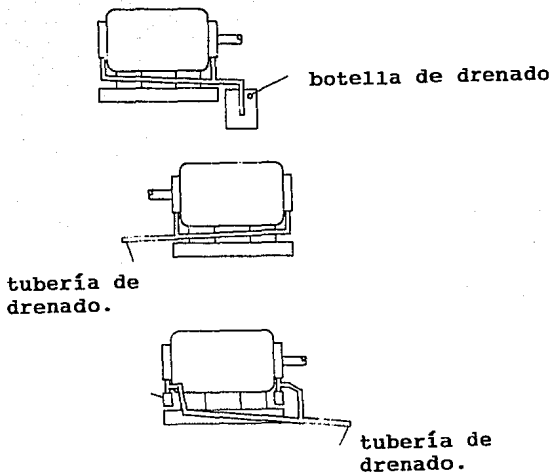


FIGURA 9.2

c) Para motores con rodamientos de bolas lubricados con grasa.

- Determinar el tipo de balero a lubricar: abierto, sellado o cubierto.
- Quitar la grasa de la caja de baleros.
- Inyectar la niebla.
- Conectar el sistema de drenado.

Este tipo de adaptación es la más complicada de las tratadas hasta ahora. El mayor problema que se tiene es la gran variedad de baleros y de cajas de baleros existentes. Algunos motores son lubricados cada cierto tiempo con grasa, por lo que tienen un barreno con tapa en la parte superior de la caja. Otros motores de este mismo tipo no tienen el barreno para la inyección de la grasa, por lo que los baleros utilizados son abiertos, sellados o autolubricados. Los tipos de lubricación para motores que no tienen tapones de drenado, no pueden ser inmediatamente adaptados para ser lubricados por niebla. La caja de baleros de estos motores, debe ser barrenada para proveer un puerto de drenado para el aceite líquido. Usualmente este tipo de motores son cambiados de operación hasta que fallan o hasta que tienen que ser removidos por otra razón. Es en este instante, (al momento de cambiar el motor), cuando se pueden remover los baleros sellados por baleros sencillos, los sellos de la flecha pueden ser instalados y las cajas de baleros son barrenadas para permitir la instalación del sistema de drenado.

Los motores que son engrasados a intervalos de tiempo, pueden ser cambiados a la lubricación por niebla en el mismo lugar en que el motor está trabajando sin necesidad de quitar el



motor de su operación. Es este tipo de motores del que hablaremos con un poco más de profundidad respecto a la manera de adaptarlos a la lubricación por niebla. El problema principal de la readaptación de estos motores es cómo se debe remover la grasa de la caja de baleros; existen una serie de procedimientos para realizar lo anterior, los cuáles varían según el tipo de baleros que se traten. Nosotros veremos un procedimiento general que ha sido utilizado en varias instalaciones con buenos resultados; sin embargo, para motores que tengan su procedimiento establecido para la readaptación a la lubricación por niebla, se deberán seguir sus normas en vez del siguiente procedimiento.

### **Procedimiento de readaptación de un motor lubricado por grasa para lubricarlo por niebla de aceite.**

- 1.- Remueva el tapón de drenado y el accesorio de inyección de grasa.
- 2.- Inyecte con aire a baja presión la caja de baleros para remover la grasa dentro de la misma a través del tapón de drenado. Es importante no utilizar aire a alta presión puesto que el flujo de grasa puede entrar a los devanados del motor.
- 3.-Reinstale el tapón de dren y llene la caja de baleros hasta la mitad de la misma con un aceite ligero ó un aceite tipo solvente.
- 4.-Coloque el tapón en el barreno en donde se inyecta la grasa y accione el motor durante 5 a 10 min. Lo anterior se realiza con el objetivo de solubilizar la grasa que haya como residuo después de inyectar el aire.
- 5.- Quite los taponés de drenado y de inyección de grasa. Una vez que el aceite haya sido completamente drenado, inyecte otra vez aire a baja presión a la caja de baleros.
- 6.- Conecte la línea de inyección de la niebla y permita que el flujo de ésta llene la caja de baleros.
- 7.- Conecte finalmente al barreno de drenado el sistema idóneo para colectar el aceite que se vaya condensando.

Realmente no importa que tipo de balero es utilizado en una caja inyectada periódicamente por grasa. Un balero sencillo podrá ser lubricado fácilmente por la niebla de aceite; un balero cubierto podrá también ser lubricado por la niebla, puesto que el espacio entre entre la cubierta y la pista interna del balero permitirán la entrada de la niebla y favorecerán su condensación. El mecanismo anterior es similar a

la manera en que la grasa inyectada penetra al balero cubierto. Por último, en un balero sellado, la única diferencia al inyectar la niebla es que la caja de baleros en vez de estar llena de grasa, estará cubierta de niebla de aceite. Una vez que falle el balero sellado, se podrá cambiar este por otro del tipo abierto sin ningún problema.

### **Precauciones sobre la conversión de los motores a la lubricación por niebla.**

Existen tres tipos de problemas que deben ser evitados cuando se quiera aplicar la niebla de aceite a un motor que ha sido lubricado en forma convencional, a saber:

a) El primer problema que se presenta es el sellado entre el motor y la caja de conexiones ya que existirá un porcentaje de niebla de fuga que impregnará los aislamientos de los cables. Es necesario por consiguiente, tener un buen sellado que evite que la niebla de fuga pase de ciertos límites permitidos para evitar problemas de degradación.

b) Un segundo problema es la compatibilidad entre el aceite utilizado y el tipo de aislamiento que se tenga en los cables. La niebla de aceite tendrá un contacto real con estos materiales por lo que los puede degradar y disminuir sus propiedades dieléctricas y mecánicas, si no existe tal compatibilidad.

c) El último problema respecto a éstas adaptaciones, es el sobrecalentamiento debido a la contaminación de los aislamientos por el mismo aceite y suciedades inherentes. Dentro de este tipo 2 tipos de motores deben ser considerados:

i) Los motores abiertos o protegidos, en los cuales el enfriamiento se logra por medio del aire tomado del ambiente. Alguna niebla de fuga se escapará junto con este aire, pero la concentración de ésta será mínima. El aire fresco del medio ambiente mantendrá limpio al motor abierto.

ii) Los motores cerrados, los cuáles no utilizan el aire del medio ambiente para enfriar al motor directamente. El aire del medio ambiente será dirigido externamente a través de las aletas colocadas en la carcasa del motor. Estas aletas eliminarán el flujo de calor de los aislamientos a través del estator.

La transferencia de calor de los aislamientos hacia el aire interno del motor y después hacia los soportes será el camino secundario. Si existiera alguna contaminación de los aislamientos, lo cuál ocasionaría pérdidas de flujo en este camino secundario, la transferencia de calor total de

la máquina no se vería afectada considerablemente.

Se puede observar entonces que aún cuando exista contaminación de los devanados debido a la contaminación de la niebla de aceite, la transferencia de calor no se verá afectada sin importar de que tipo de motor se trate. Entonces el aumento de temperatura no será un factor importante a considerar cuando se tenga contaminación por niebla en los devanados.

La lubricación de los motores por niebla no es tan difundida como la lubricación de las bombas. Esto se debe principalmente a que la conversión a la lubricación por niebla de dichos equipos puede llegar a tener un costo de entre 50 a 100 dolares. Otro factor que llega a influir es que los problemas debido a la lubricación en los motores no son tan frecuentes como los encontrados en otros equipos. La justificación del empleo de la niebla de aceite a los motores se ha comprobado ampliamente y a menos que se tengan problemas de índole financiera, el no aplicar este sistema podrá llegar a ser una mala decisión.

### **Bombas**

Esta aplicación es de las más difundidas entre los equipos a lubricar por niebla. Lo anterior se debe a que estos equipos de proceso tienen la caja de baleros inmersa en aceite (en su mayoría) por lo que las adaptaciones que se deben realizar son mínimas. El tipo de bombas en las que se aplica este sistema recae principalmente en las bombas centrifugas. La manera de adaptar el equipo a los requerimientos del sistema fué vista, como recordara el lector, en el capítulo V, en donde se analizaron las maneras de aplicar la niebla (pura y purga). No repetiremos otra vez la manera de realizar las adaptaciones, pero sí se debe especificar que el venteo de estos equipos se realizará a través de los mismos sellos de los baleros.

Para otro tipo de bombas, en donde sea deseado utilizar el sistema, se deberá contar con un plano donde se indique la posición de los baleros y de su caja. Además de este se requerirá conocer a que tipo de lubricación han sido sujetos dichos rodamientos para analizar la conveniencia de aplicar este sistema o no.

### **Cajas de engranes.**

Todas las cajas de engranes tienden a "respirar". Cuando el tren de engranes empieza a funcionar, el calor generado

tiende a que el aire dentro de la carcasa de la caja se expanda. Con el enfriamiento, después de que el equipo deja de trabajar, el aire es "absorbido". Estos ciclos de cambios de temperatura provocan que el aire sobre el nivel de aceite esté continuamente cambiando. Así, en los ciclos de enfriamiento las impurezas que contenga el aire se condensarán y mezclarán con el aceite; si estas impurezas son de mayor densidad que el aceite, tenderán a caer hasta el fondo de la caja, lo que ocasionará que no ocurra una evaporación de las mismas por el nivel de aceite. Al haber después una agitación de esta mezcla, debido al funcionamiento del tren de engranes, el funcionamiento de la caja no será el ideal, la lubricación será deficiente y el degradamiento del aceite irá en aumento. Este es un grave problema en la mayoría de las cajas de engranes, el cual puede aumentarse si se presentan las siguientes condiciones:

a) Grandes fluctuaciones de la temperatura, una humedad alta o una combinación de las dos.

b) Ciclos frecuentes de temperatura interna bajo una temperatura ambiental aproximadamente constante o una temperatura interna constante con grandes fluctuaciones de la temperatura ambiente.

Resumiendo, a los mayores cambios del aire (temperatura), junto con un alto grado de la humedad, los daños a la caja de engranes serán mayores.

La aplicación de la niebla de aceite a estos equipos ha resuelto el problema anterior de una manera sencilla y a un costo bajo. Esta niebla de aceite cumple dos funciones primordiales:

a) Sirve para purgar el espacio entre el aceite y las paredes de la caja por lo que la mantiene libre de posibles impurezas del medio ambiente.

b) Mantiene una capa constante y fina de aceite sobre las caras de los engranes. Este factor es de suma importancia, ya que cuando el equipo no está en funcionamiento, con la lubricación por bañado, los dientes de los engranes superiores no están lubricados. Al momento de haber movimiento en los engranes, existe un contacto metal-metal en las caras de los mismos, provocando un alto desgaste. Con la capa de aceite, al aplicar la niebla, este desgaste será minimizado por lo que la vida de los engranes aumentará.

La aplicación de la niebla a las cajas de engranes es una aplicación típica de la niebla purga, y como tal, el nivel de aceite debe ser cuidado por medio de un sistema de drenado

colocado a la caja (ver el diseño de sistemas de drenado en el capítulo V).

### **Ventiladores o sopladores.**

Los problemas asociados a las fallas de baleros en estos equipos provienen principalmente de la humedad del flujo de aire, del calor presente o generado y de los contaminantes externos. Se ha comprobado que al utilizar la niebla de aceite en los ventiladores, las fallas relacionadas a los factores anteriores son eliminadas.

Los baleros de los ventiladores pueden ser del tipo antifricción, lubricados con grasa o con aceite, o pueden ser chumaceras lubricadas con aceite. Usualmente un motor eléctrico ó una turbina de vapor serán los que accionarán al ventilador. Como vimos anteriormente, los baleros de los motores son del tipo antifricción, los cuales son lubricados con grasa. mientras que los baleros del rotor de la turbina son chumaceras lubricadas con aceite.

Si se emplea la niebla de aceite a estos equipos, la niebla pura deberá ser utilizada en los baleros antifricción, teniendo siempre en consideración que los reclasificadores deberán ser dirigidos a los elementos rodantes y que los venteos se harán a través de los sellos y de los drenes. La niebla purga se utilizará en las chumaceras, por lo que la contaminación del aceite utilizada se eliminará, las superficies superiores al nivel del bañado de aceite tendrán una capa fina de lubricante, (como en los engranes), y tendrá algunos efectos como agente enfriante.

Las aplicaciones a los ventiladores de los sistemas de niebla de aceite no son tan frecuentes como las hechas en bombas y motores básicamente; se ha comprobado que en lugares de alta humedad y en ambientes hostiles, las fallas de estos equipos se han reducido considerablemente al utilizar la niebla, siempre y cuando se cumplan las condiciones de diseño expuestas aquí y en capítulos anteriores.

## CONCLUSIONES

---

## Capítulo X

### Conclusiones

Generalmente en las conclusiones se espera que el autor muestre la parte principal de su trabajo o de sus consideraciones del mismo. Sin embargo creemos que la tesis en sí misma es toda una aportación completa, por lo que en esta parte solo se darán algunos puntos donde el lector podrá sacar algunas ideas principales del objetivo de la tesis.

La experiencia de estos sistemas en México ha sido muy lenta. Durante los recorridos hechos a diversas plantas del país se observó que la introducción de este tipo de lubricación debe ir acompañada de una enseñanza sobre el uso de los sistemas por niebla. Esta enseñanza es compleja y ardua, ya que es difícil para varias personas creer que una niebla de aceite podrá lubricar bien sus equipos.

Se debe recalcar que la niebla de aceite no resuelve todos los problemas de lubricación, y aunque el ataque frontal que hacen a las dificultades ocasionadas por la fricción es preciso, el manejo que tengan deberá ser enfocado a las áreas de aplicación donde han comprobado su eficacia. Así la expansión de éstos sistemas hacia las diversas aplicaciones en la industria solo será posible en la medida en que su acción venga a mejorar los otros tipos de lubricación utilizados.

La adaptación de la niebla de aceite debe enfocarse siempre a las necesidades concretas tanto de una industria, como de un país. México tiene enorme potencial para el uso de estos sistemas, y seguramente no se ha logrado debido a que ha faltado un enlace tan necesario en este tipo de aplicaciones: el de la investigación en el campo y su implantación. Esta tesis da una introducción al conocimiento y aplicación de estos sistemas, pero si no induce a las personas interesadas a realizar una prueba de los mismos en su industria, no habrá cumplido con sus objetivos plenamente.

Un problema que se presenta constantemente cuando se desean realizar pruebas de campo, es el de la factibilidad económica del sistema. En ninguna parte de la tesis se expresa que los sistemas por niebla de aceite sean un proyecto de gran viabilidad económica. Para resolver todas estas cuestiones es necesario tener un estudio financiero y estratégico para poder comprobar las ventajas de los mismos para la empresa. La tesis no cubre este aspecto por una sencilla razón: cada empresa, y aún más, cada unidad de negocio dentro de la misma, es un proyecto muy específico que debe estudiarse detalladamente; además los criterios de aceptación del mismo varían según las propias circunstancias de la empresa. El abarcar un estudio de este tipo nos colocaría en una posición de analizar un punto

en específico y no ver las características técnicas generales de los sistemas.

Con esta perspectiva, habrá empresas en las cuales el sistema realice eficazmente la operación, pero el factor financiero y de rentabilidad no cumpla con los objetivos deseados. Si después de un estudio no es posible mejorar estos factores, se deberá optar por alternativas más rentables. Por otra parte, hay factores intangibles en los que puede surgir el punto relevante para la toma de la decisión de implantar o no un sistema por niebla. Con esto queremos decir, que una decisión de tal importancia debe abarcar todos los puntos importantes y alternativas posibles para llegar a una solución que llene todos los requerimientos de la misma.

Por último debemos remarcar que los sistemas por niebla de aceite, son una alternativa más de solución, no la única solución. Esperemos que con el paso del tiempo y con la labor desarrollada por personas interesadas en su conocimiento y aplicación de dichos sistemas, se tengan mayores inversiones en México que apoyen este desarrollo tecnológico.



ANEXO I

---

## ANEXO I

### Características de los lubricantes utilizados en los sistemas por niebla.

La función más importante de cualquier lubricante es evitar el contacto directo de las superficies en movimiento. Los métodos de lubricación pueden variar según las características de cada equipo, por lo que podrá haber requerimientos especiales en los aceites a seleccionar para obtener los máximos beneficios del método utilizado. En los sistemas por niebla de aceite lo anterior no ha sido la excepción, por lo que al seleccionar el aceite para estos sistemas se deberán considerar las siguientes características:

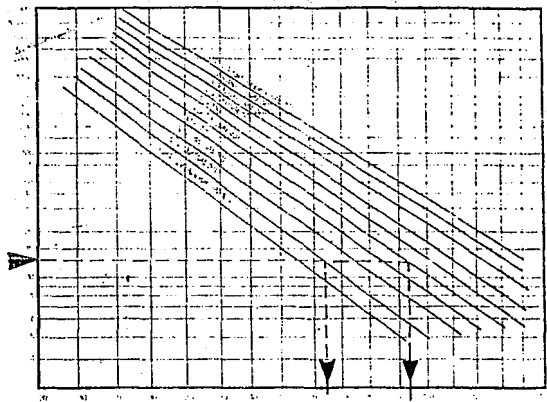
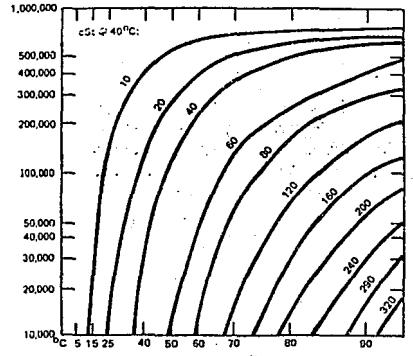
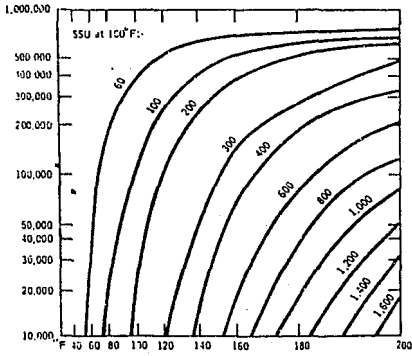
- 1.- Propiedades del aceite, tales como la resistencia a la oxidación y resistencia a la película.
- 2.- Viscosidad y resistencia a la formación de "cera" a bajas temperaturas.
- 3.- Estabilidad a altas temperaturas.
- 4.- Características de facilidad de formar la niebla y favorecer la reclasificación.
- 5.- El grado de toxicidad sea bajo.

Analícemos cada una de las características anteriores por separado.

#### Propiedades del aceite.

Los lubricantes utilizados en los sistemas de niebla deben ser formulados para cubrir las necesidades del equipo a lubricar. Cuando los equipos son similares, lo anterior no reviste ningún problema; sin embargo, para equipos variados y lubricados por una sola consola los problemas son ya de gran consideración. Así, un aceite 100% mineral no tendrá tan larga vida de servicio en aplicaciones donde se encuentren aleaciones susceptibles a la corrosión.

Es por eso que los lubricantes deben tener ciertos aditivos para que al ser aplicados a los sistemas por niebla, cubran una amplia variedad de aplicaciones. Los aditivos con los que son formulados los aceites tienen varias funciones, tales como evitar la oxidación, controlar el formado de espumas, reducir el desgaste, permitir que la presión de



contacto aumente, promover la humedad de las superficies metálicas e incrementar la "acción detergente". Es importante por lo tanto elegir los lubricantes con los aditivos necesarios en vez de utilizar lubricantes sencillos, ya que aunque el costo sea mayor, los riesgos de falla o paro del equipo serán minimizados.

### **Viscosidad y resistencia a la formación de "cera".**

Los requerimientos de la viscosidad de los elementos rotativos depende del tamaño de estos, de su velocidad y de la temperatura de trabajo de los mismos. Existen tablas en donde se relacionan estos factores y en las cuales se nos indican las viscosidades idóneas para la selección de lubricantes. Estas tablas se muestran a continuación y deben ser utilizadas cuando no se tengan datos del fabricante de los sistemas por niebla (ver tabla A1 y A2).

Si se llegara a utilizar un lubricante de mayor viscosidad que la indicada en tablas, se tendrá un aumento de la fricción del torque aunque esto no influirá negativamente en la vida del balero. En caso contrario, cuando se elija un aceite con bajo grado de viscosidad, la vida del balero será seriamente decrementada ya que existirá un rompimiento en la película de aceite, lo que provocará que haya un contacto directo de metal con metal (mayor desgaste). Se ha observado a través del tiempo, que el mejor aceite a utilizar para toda la maquinaria de proceso (bombas, motores, pequeñas turbinas), es aquel cuyo grado ISO es 100, ya que su límite máximo de temperatura antes de que tenga serios decrementos la vida del aceite, es de aproximadamente 93 C. Esta temperatura tiene cierto nivel de seguridad respecto a las temperaturas de trabajo que se pueden obtener en los equipos antes descritos, por lo que las características de lubricación serán óptimas.

En lo que respecta a la formación de "ceras", esto será función del aceite seleccionado; así, los aceites parafínicos son más susceptibles a la formación de estos fenómenos, lo que puede provocar que los reclasificadores se obstruyan y eviten el paso de la niebla, a bajas temperaturas. Los aceites naphthénicos son preferidos para utilizarse en los sistemas por niebla, ya que no provocan la obstrucción de los reclasificadores a bajas temperaturas. Otro tipo de aceites que mejoran la confiabilidad de los sistemas y disminuyen los riesgos de fallas en los equipos, son los sintéticos dibásicos. Sin embargo, antes de utilizar cualquiera de estos aceites se deberá comprobar si son compatibles con la superficie a lubricar. Para tener mayor información de que materiales son compatibles con estos aceites consultar la bibliografía.

Se puede deducir que cualquier aceite utilizado en los

sistemas por niebla para que tenga buenas características al formarse la niebla, debe ser calentado a ciertos niveles de temperatura. Lo anterior será factor de la viscosidad del aceite y de su temperatura mínima de trabajo. En la tabla A3 se muestra los valores aceptables de viscosidad para las aplicaciones en diversos elementos de maquinaria, mientras que en la figura a.1 se indica como obtener el índice de viscosidad de cualquier aceite si se conocen sus viscosidades a 100 F y a 210 F. Este índice de viscosidad (V.I) es importante de conocerlo, puesto que a mayor valor de V.I de un aceite, los cambios de su viscosidad respecto a la temperatura serán menores. De esto se concluye que si se tiene un sistema por niebla que no utilice calentador de aceite, el uso de aceites con alto valor de V.I será recomendable.

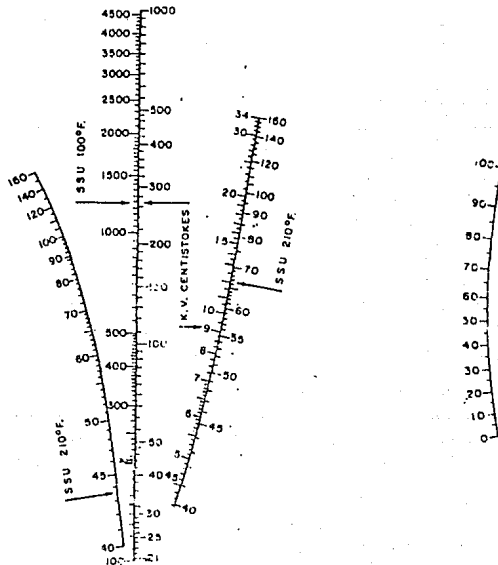


FIGURA a.1

## **Estabilidad.**

En los sistemas de niebla ya sea con calentadores de aire y de aceite, la estabilidad de este estará asegurada. Como el flujo de calor tiende a oxidar a los lubricantes, estos deben estar compuestos con inhibidores de oxidación. Además se debe proporcionar el flujo de calor necesario para asegurar una buena calidad de la niebla y evitar que el aceite tenga una rapidez de degradación alta. Si esto ocurriera, los productos de descomposición tendrían los mismos efectos de la formación de ceras, ya que taponarían los reclasificadores, así como las ventanas de drenado en las aplicaciones de bañado de aceite. También, con la formación de estos productos, se formarían lodos en las tuberías del sistema de distribución, lo que obstruiría el flujo de niebla. Los mejores aceites que tienen una estabilidad y una resistencia alta a la descomposición a altas temperaturas son ester sintéticos dibásicos, aunque su selección deberá cumplir con su compatibilidad hacia los elementos a lubricar.

## **Características de reclasificación y formado de niebla.**

El aceite seleccionado para ser utilizado en un sistema de niebla debe permitir por sí mismo la facilidad de ser dispersado en un flujo de aire, además de ser efectivamente separado de este flujo, para evitar que se escape a la atmósfera en forma de niebla. A estas dos características nos referimos cuando hablamos de las propiedades de facilidad de generar la niebla y de reclasificación.

La viscosidad de la niebla de aceite y su composición molecular afectan la cantidad de niebla que no será reclasificada o niebla de fuga, la cuál, si es de gran proporción, no es deseada. Se ha visto que pequeñas cantidades de polímeros de alto peso molecular incrementan el porcentaje de aceite que será reclasificado ó aplicado, con lo que la niebla de fuga disminuirá. Una desventaja de estos polímeros es que cuando son aplicados en gran proporción pueden reducir la estabilidad del aceite y su facilidad de ser atomizado. Los aceites que menor cantidad de niebla de fuga han "creado" al ser utilizados en los sistemas de niebla son, otra vez, los ester sintéticos dibásicos por lo que su costo es alto comparado con otros aceites.

## **Limites de toxicidad.**

Los aceites minerales utilizados en los sistemas por niebla, han dado limites de threshold de 5 miligramos por metro cúbico, lo cuál es la concentración de la niebla en el area de trabajo en un tiempo de 40 hrs. semanales. El valor limite de

threshold en el cual se tiene un rango de seguridad es de 10 miligramos por metro cúbico, lo que significa que no habrá daños a un trabajador expuesto a la niebla de fuga en un turno de labores normal. El valor de 10 mg/m<sup>3</sup> es el límite en donde se presentarán los siguientes problemas:

- a) Irritación.
- b) Daño crónico ó irreversible de los tejidos.
- c) Narcosis y aumento de la probabilidad de daños accidentales.
- d) Disminución de la eficiencia de trabajo.

El valor de 5 mg/m<sup>3</sup> no se excede en los lugares cercanos a donde se encuentran los sistemas de niebla y equipos lubricados por ellos, además de que los valores de la niebla de fuga alcanzan solo el 20 % de los 5 mg/m<sup>3</sup>, por lo que los niveles de toxicidad no son un factor a considerar de peligro en la selección de los lubricantes para ser utilizados en estos sistemas.





## Anexo II

### Estudio acerca del comportamiento de la niebla de aceite en un sistema cerrado

La pregunta que se realiza siempre en cualquier presentación acerca de estos sistemas se refiere a la pérdida de presión que puede tener el flujo de niebla al recorrer grandes distancias. Con el presente estudio se responderá a esta pregunta además de responder a otra más interesante: ¿Por qué tener un diámetro de tubería de 2 in como estandar y no uno de otra medida?

Se pretende en este anexo dar una aproximación a las conclusiones que nos darán pauta a la respuesta de las preguntas anteriores. Sin embargo es necesario valernos de los métodos numéricos para inferir algunos datos que nos servirán más tarde. Como se ha hecho a lo largo de este trabajo omitiremos los formulismos y ecuaciones, y nos basaremos en suposiciones ya establecidas anteriormente. Si se desea mayor información al respecto el lector se puede remitir a la bibliografía.

El presente programa se ha formulado para una calculadora HP-41 y toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) El fluido que se trata de estudiar es un gas, cuyo régimen es laminar.
- b) El gas se comporta como un fluido que no sufre cambios en su temperatura y cuyo estado es estable conforme al tiempo.
- c) El volumen de trabajo que se estudia es el de una tubería cerrada.

Las variables que se manejan, junto con sus unidades son las que se mencionan a continuación:

- a) Presión de entrada (pascales).
- b) Presión de salida (pascales).
- c) Temperatura media del fluido (grados centígrados).
- d) Longitud de la tubería (metros).
- e) Diámetro de la tubería (metros).
- f) Cambio en la altura de la tubería desde su entrada hasta la salida (metros).

Los datos de entrada son los siguientes:

- a) Presión de entrada: 4.98 KPa.
- b) Presión de salida: variable a establecer.

- c) Temperatura del fluido: 20 C.  
 d) Longitud de la tubería: 300 mts (límite máximo).  
 e) Diámetro de la tubería: tomará los siguientes valores :  
 0.051 m, 0.0381 m, y 0.0762 m que equivalen a 2, 1.5 y 3 in.  
 respectivamente.

Se dará en las siguientes tablas los valores que se obtuvieron de la presión de salida al ir variando el diámetro de la tubería y en cada una de ellas como varía la misma presión de salida al ir variando la presión de entrada.

TABLA I

-----  
**Diámetro: 2 pulgadas.**  
 -----

Presión de entrada	Presión de salida	Cambio Porcentual.
24.13	20.63	14.51
27.57	24.52	11.09
31.02	28.55	7.98
34.47	32.34	6.19
68.94	68.09	1.24
137.9	137.48	0.3
275.8	275.6	0.08
413.68	413.47	0.05

TABLA II

-----  
**Diámetro: 1.5 pulgadas.**  
 -----

Presión de entrada	Presión de salida	Cambio Porcentual
34.47	25.03	27.38
68.94	65.55	4.92
137.9	136.44	1.05
275.8	275.03	0.28
413.68	413.13	0.13

TABLA III

-----  
**Diámetro de entrada: 3 pulgadas.**  
 -----

<b>Presión de entrada</b>	<b>Presión de entrada</b>	<b>Cambio Porcentual</b>
34.47	34.16	0.9
68.94	68.8	0.2
137.9	137.82	0.05
275.8	275.73	0.02
413.68	413.61	0.02

De las tablas anteriores se pueden sacar algunas conclusiones :

- a) Al mantenerse el diámetro constante y aumentar la presión, la pérdida de ésta a la salida irá disminuyendo paulatinamente a un ritmo no lineal.
- b) Al tener una presión de entrada de 20 psi (137.9 Kpa) con un diametro de 2 in la perdida será de apenas 0.3 por ciento. Este dato es de importancia para nosotros, ya que a esa presión podemos suponer que trabajará el sistema, razón por lo cual no habrá una pérdida significativa de la presión.
- c) Al aumentar el diámetro los porcentajes de las pérdidas de presión disminuyen conservando las mismas presiones de entrada.
- d) Al disminuir el diámetro los porcentajes de las pérdidas de presión aumentan si se conservan las mismas presiones de entrada.

Con el análisis de estos datos observamos entonces que el considerar un diámetro de 2 in. se relaciona directamente a la pérdida de la presión que se desee. Es obvio que se puede utilizar otro diámetro y tener la misma presión a lo largo de la tubería con una menor perdida, sin embargo esto es a costa de un aumento en los costos de material y muy posiblemente de instalación, además de que se sale del estándar establecido para los sistemas por niebla.

De la misma manera en que se varía la presión al disminuir ó aumentar el diámetro, aquella también cambia al variar la longitud. En un esquema con tres ejes se puede visualizar la variación de la presión de salida con respecto al diámetro de la tubería y a la longitud de la misma.

**APENDICE A**

---

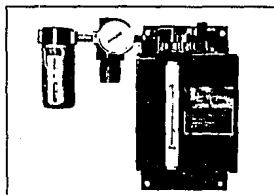
# APPLICATIONS FOR *LubriMist*® OIL MIST:

- Lubrication of rolling element bearings in electric motors, centrifugal pumps, conveyors and turbines.
- Lubrication of open gearing, chain drives, wire rope, slides and ways.
- Protection of standby equipment and equipment in storage by pressurizing bearing housing eliminating outside contamination.
- Purge mist for extending gear box life and oil change interval.



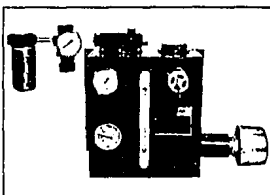
**Offers A Broad Range Of *LubriMist*® Oil Mist Generators To Meet All Your Needs.**

**MODELS FOR NON-HAZARDOUS AREA USE:**



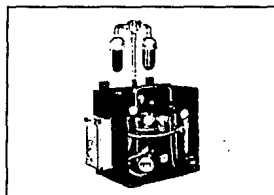
**"VM" Model**

- Basic generator with one gallon reservoir for smaller systems.
- Controls include low oil level switch, air pressure regulator with gauge and auto drain filter.
- Flange designed for easy mounting.



**"VO" Model**

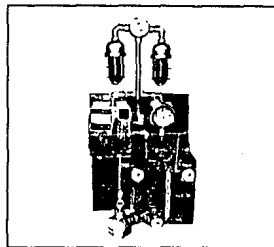
- Designed for intermediate size installations.
- Three gallon reservoir with pressure relief valve and immersion oil heater.
- Controls include low oil level switch and air pressure regulator with gauge and auto drain filter.
- Mist pressure and oil temperature gauges are standard.



**"NV" Cabinet**

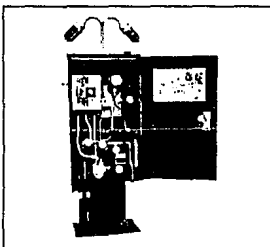
- Fully enclosed cabinet model for monitored and/or automated larger systems.
- Many standard features including low oil level switch, high/low mist pressure switch and immersion oil heater.
- Large six gallon reservoir for extended use periods without refilling.
- Options available include auto bulk fill, air heater and external warning lights.

**MODELS FOR HAZARDOUS AREA USE:**



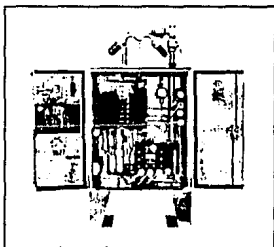
**"VFP" Panel Mounted Unit**

- Panel mounted unit for intermediate size systems.
- Moderate instrumentation including low oil level switch and air pressure regulator with gauge and auto drain filter.
- Red/green external warning lights and immersion oil heater are standard.
- Optional features include additional instrumentation and single door cabinet.



**"JR" Console**

- Designed for medium sized systems such as cooling towers and pump houses.
- Most key variables monitored and controlled.
- Single door cabinet with external red/green warning lights.
- Standard feature includes auto bulk fill.



**"EXP" Console**

- Fully automated and monitored console model.
- Designed for large systems.
- Monitors all key variables such as oil and air temperature, mist pressure and oil level.
- Electrical controls include individual malfunction pilot lights.
- Double door cabinet with external red/green warning lights.

**APENDICE B**

---

# APENDICE - B

<u>QUANT</u>	<u>DESCRIPTION</u>
1659 FEE	PIPE, 2" SMD. GALV A-120 T&C
50 ----	ELBOW, 150 LB. MI GALV.
16 ----	TEE, 2" 150 LB. MI GALV.
10 ----	TEE, 2XLX3/4 150 LB. MI GALV.
20 ----	LUG, 2' 150 LB. MI GALV.
378 FEET	PIPE, 3'4" STD. GALV. A-120 T&C
9 ----	PIPPLE, 3/4X6 STD GALV
27 ----	ELBOW° 1/4' 150 B. MI GALV.
9 ----	EE, 3/1" 150 LB. MI GALV.
1 ----	BUSH, 3'4XL/8 150 LB. MI GALV.
1 ----	UNION, 2" 150015 MI GALV.
315 FEET	TUBE, 1'4X.035, T-304 SS
27 ----	TEE, 3/3" 150 LB. MI GALV.
2 ----	ELBOW, 2" 45' 15016 MI GALV.
27 ----	ST ELL, 373" 150 LB. MI GALV.
27 ----	NIPPLE, 3/EXCL STD GALV
27 ----	BUSH, 3/8XL/4 150 LB. MI GALV.
36 ----	TEE, 1/4" 150 LB. MI GALV.
72 ----	NIPP.E, 1/4XCL STD GALV
63 ----	BLSH, 150 LB. MI GALV. (AS REQD)
36 ----	ELBOW° 1/4" 150 LB. M: GALV.
36 ----	NIPPLE, 1/4X6 STD GALV.
177 ----	ANGLE IRON, 2X2XL/4 GALV
150 ----	U-EDLL, 2X3/8 W/NUTS
18 ----	U-BDL., 3/4X3/8 W/NUTS
8 ----	ALL TIREAD° 3/8-16 X 10' GALV
160 ----	HEAVY HEX NUTS, 3/8-16
63 ----	PIPE, 1/2" STD, GALV A-120 T&C
12 ----	ELBOW 1/2" 150 LB, MI GALV.
2 ----	TEE, 1/2' 150 LB, MI GALV.
1 ----	SWAGE NIPPLE L/2XL/4
4 ----	UNION 1/22 150 LB. MI GALV.
12 ----	U-COL, L/2X3/3 W/NUTS
8 ----	NIPPLE° 1/2X4 STD GALV
180 ----	TUBE° 3/8 X .035 , T-304 SS
651 FEET	PIPE, 2" STD, GALV A-120 T&C
----	ELBOW, 2" 150 LB. MI GALV.
----	TEE, 2" 150 LB. MI GALV.
----	PLUG, 2" 150 LB. MI GALV.
501 FEET	PIPE, 3/4" STD. GALV. A 120 T&C
----	PIPPLE, 3/4X6 STD GALV
----	ELBOW, 3/4" 150 LB. MI GALV.
----	TEE, 3/4' 150 LB. MI GALV.
----	BUSH, 3/4XL178 150 LB. MI GALV.
----	UNION, 2' 1501b MI GALV
22 FEET	TUBE, 1/4X.035 T-304 SS
----	ELBOW° 2' 45' 15016 MI GALV
----	ANGLE IRON, 2X2XL/4 GALV
----	U-BOLT, 2X3/8, W/NUTS
----	U-BOLT, 3/4X3/8 W/NUTS
----	ALL THREAD° 3/8-16 X 10' GALV
----	HEAVY HEX NUTS, 3/8-16
----	PIPE, 1/2" STD. GALV A-120 T&C
----	ELBOW° 1/2" 150 LB. MI GALV.
----	TEE, 1/2" 150 LB. MI GALV.
----	SWAGE NIPPLE 1/2XL/4
----	UNION° 1/2" 150 LB. MI GALV

**BIBLIOGRAFIA**

- 1) Oil-mist lubrication handbook.  
Systems and applications.

Bloch Heinz P.  
Gulf Publishing Company.  
1 Ed.  
EUA - 1987.

- 2) Introducción a la tribología.

Rusek P. Piotr.  
Instituto Tecnológico de Querétaro.  
Centro de graduados e investigación.  
1 Ed.  
México - 1986.

- 3) Operating and Instruction manual.  
Lubrimist oil-mist. Model SSV.

- 4) Standard Handbook of lubrication engineering.

American Society of Lubrication Engineers.  
O Connor James y coautores.  
Mc Graw Hill Company.  
1 Ed.  
EUA - 1980.

- 5) Pipeline Hydraulics and heat transfer

Hein A. Michael.  
Penwell books.  
1 Ed.  
EUA - 1984.

- 6) General specification of oil-mist  
lubrication systems.

- 7) Engineering guide of oil-mist  
lubrication systems.

- 8) Oil-mist lubrication cuts bearing  
maintenance.(artículo).

Bloch P. Heinz  
Plant Services.



- 9) Application bulletin # 4: forced draft fans.

Lubrication systems company.

- 10) Purge oil mist is a proven method of increasing gear box service life.

Lubrication systems company.

- 11) Preservation by oil mist application.

Bloch P. Heinz.  
Plant Services.

- 12) Practical experience with oil mist lubrication.

Towne C.A.  
Conferencia.

- 13) Oil mist lubrication for electric motors: where it stands today.

Towne A. Charles, Sheppard J. David.  
IEEE transactions on industry applications.

- 14) Large scale application of pure oil mist lubrication in petrochemical plants.

Bloch P. Heinz.  
The American Society of Mechanical Engineers.  
80-C2 / Lub 25.

- 15) Lubrimist Model "EXP" oil mist console. Operating Guide.

Bulletin M-81  
Lubrimist.