



## Recomendaciones para establecer un programa de Monitoreo Acústico de la Lubricación

Por Gustavo Velásquez  
SDT North America

### Introducción

Existe un amplio consenso en las bondades de establecer y mantener un programa adecuado de lubricación en la planta de manera que se garantice mayor vida útil de los equipos y se minimice los paros no programados causados por problemas relacionados con la lubricación.



No obstante lo anterior la realidad es muy diferente encontrándose que aun son muchos los problemas causados por las malas prácticas en la lubricación y que pudieron ser evitados ahorrando tiempo y dinero.

### Conceptos generales sobre la lubricación

El estudio de la lubricación es tratado en profundidad por la tribología, área de las ciencias que se especializa en los efectos de la fricción, la lubricación y el desgaste cuando las superficies interactúan entre si.

Para efectos de este artículo vamos simplificar diciendo que la lubricación es la aplicación de principios físicos y químicos para disminuir la fricción entre las superficies de los elementos mecánicos que se mueven los unos relativos a los otros en las maquinas.

Si no se lubrica adecuadamente se presentan dos fenómenos característicos como son el aumento en la temperatura y el desgaste entre las superficies de estos componentes mecánicos.

La temperatura estresa térmicamente los componentes, disminuye drásticamente la vida

útil del lubricante y es fuente de desperdicio de energía.

El desgaste debilita las superficies metálicas promoviendo fallas estructurales.

Para disminuir los problemas asociados con la fricción, la tribología aplica en el diseño de maquinas los siguientes principios de la física:

- El coeficiente de fricción entre un liquido y un sólido es menor que el coeficiente de fricción entre dos sólidos
- Cuando se tiene dos piezas metálicas que se mueven la una relativa a la otra, el coeficiente de fricción es más bajo cuando los metales son diferentes.
- Es más eficiente el movimiento de rodadura que el de deslizamiento.

En la práctica estos principios se utilizan conjuntamente para diseñar componentes mecánicos confiables y capaces de trabajar miles de horas siempre y cuando se lubriquen adecuadamente.



### Principios para una buena lubricación

A pesar de lo complejo que es el estudio de la tribología, la aplicación de sus principios obedece a conceptos muy sencillos y fáciles de entender.





Para mantener una lubricación eficiente y sin contratiempos que les permita a sus equipos tener muchos años de servicio interrumpidos aplique los siguientes principios:

- Utilice siempre el lubricante con la calidad requerida.
- Aplique la cantidad adecuada
- Re lubrique únicamente cuando sea necesario



## Lubricante

Cuando nos referimos al lubricante este puede ser líquido (aceite) o semi sólido (grasa) o sólido (grafito, bisulfuro de molibdeno).

Típicamente los rodamientos antifricción (bolas y rodillos), son en un alto porcentaje lubricados con grasas. Los cojinetes planos generalmente requieren lubricantes en forma líquida. Es muy importante entender que si bien las grasas son semi sólidos, la película lubricante que separa las superficies metálicas se forma por el aceite que contiene la grasa en su estructura.

Una grasa bien seleccionada debe tener un aceite con la viscosidad apropiada para las condiciones de carga, velocidad y temperatura de operación del rodamiento. La grasa o el aceite que se utilizan deben estar limpios sin contaminantes (sólidos o líquidos) y a una temperatura que garantice que la viscosidad del lubricante esta lo mas cerca posible a la viscosidad operacional de diseño

Temperaturas por encima de 80 °C aceleran la oxidación del aceite, y si son muy bajas se incrementa la viscosidad creando problemas de fricción fluida y/o circulación del lubricante.

Un componente muy importante que también define la calidad de un lubricante es su paquete de aditivos.

Estos se adicionan para mejorar algunas de las propiedades del producto o impartir nuevas propiedades no presentes en el aceite.

## Cantidad de Lubricante

Dependiendo del mecanismo que se este lubricando, el producto y el sistema de aplicación la selección de la cantidad de lubricante puede ser tan sencilla como ajustar el nivel en un deposito cuando se utilizan aceites o mas compleja cuando hay necesidad de calcular múltiples puntos en sistemas centralizados de lubricación.

En la lubricación de rodamientos factores tales como el tipo de rodamiento, la velocidad a la cual opera, temperatura, contaminación y el tipo de sistema utilizado para aplicar el lubricante afectan la cantidad de producto que se debe utilizar.

En sistemas de aplicación manual se usan cantidades más grandes y con una frecuencia de re lubricación más amplia mientras que en sistemas automáticos se aplican con mayor frecuencia cantidades más pequeñas.

Cuando la cantidad de lubricante no es la óptima se presentan dos situaciones potencialmente dañinas para el mecanismo como son:

- Exceso de lubricante (sobre lubricación)
- Defecto de lubricante

## Sobre lubricación

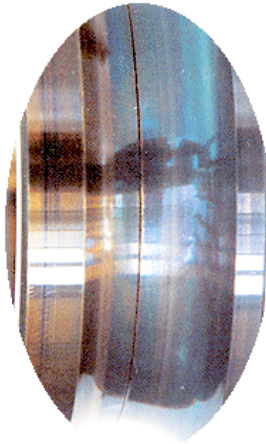
Se generan varios problemas cuando se sobre lubrica un mecanismo. En motores eléctricos el exceso de grasa pasa al bobinado poniendo en corto el motor y sacándolo de servicio con los costos asociados de reparar o cambiar el motor mas el tiempo de paro de la maquina.





En cajas de rodamientos la sobre lubricación causa el rompimiento de sellos, incrementa la fricción fluida demandando mas potencia para mover el rodamiento e incrementando la temperatura del rodamiento.

## Sub lubricación



Desgaste acelerado de las superficies y recalentamientos son síntomas inequívocos de deficiencias en el régimen de lubricación.

Al igual que un exceso de lubricante, la falta de lubricante impacta de manera severa la vida útil del componente.

Para determinar la cantidad de lubricante que se debe aplicar existen varias fuentes de información tales como los manuales de servicio de los equipos, los fabricantes de rodamientos, los proveedores de lubricantes, consultores externos, la experiencia que se tiene internamente en la planta con equipos similares y mas recientemente la aplicación de la tecnología del **ultrasonido** para determinar acústicamente la cantidad optima de grasa a aplicar.

## Periodos de re lubricación

Al igual que la cantidad de lubricante a aplicar, la frecuencia de re lubricación tiene un fuerte impacto en la vida útil del componente.

Periodos muy cortos de re lubricación sin ajustar la cantidad a aplicar pueden llegar a ser tan dañinos como la sobre lubricación, incrementa la mano de obra y el consumo de productos.

Periodos muy largos promueven el deterioro del lubricante propiciando que se presenten condiciones marginales de lubricación con incremento en el desgaste y calentamiento.

Para definir los periodos de re lubricación se deben considerar varios puntos incluyendo entre otros las condiciones operacionales, ambientales y el tipo de producto que es utilizado, si es mineral o sintético y como se va a aplicar.

Generalmente los motores eléctricos, bombas, ventiladores, compresores, reductores, cajas de engranajes, etc. traen en sus manuales de servicio los periodos recomendados de re lubricación, pero las condiciones propias de cada planta hacen necesario una verificación de estos periodos para ajustarlos a su propio entorno operacional.

Cuando se cambia de marca de lubricante o cambios de referencia dentro del mismo proveedor se hace necesario revisar y ajustar en los programas de mantenimiento preventivo los periodos de re lubricación utilizando los nuevos productos.

Al igual que la determinación de la cantidad de grasa, el periodo óptimo se puede encontrar mediante la aplicación de la tecnología del **Ultrasonido**.





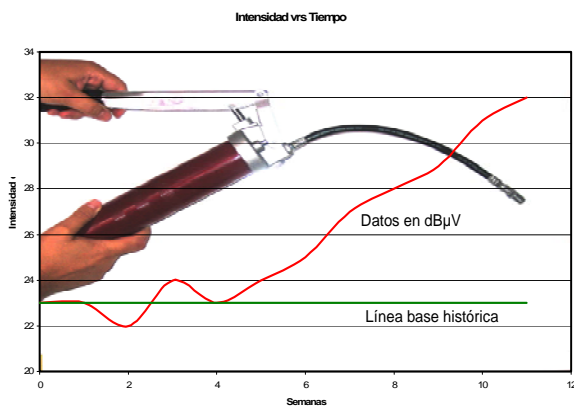
## Lubricación Acústica

Cuando un rodamiento gira, la fricción entre las partes genera energía acústica. Esta energía es más intensa cuando mayor sea la fricción entre las partes en movimiento. Un rodamiento con una película lubricante de un espesor adecuado emite señales acústicas de más baja intensidad que un rodamiento mal lubricado (película deteriorada que permite contactos metálicos). Estas señales son muy fuertes y se detectan en la frecuencia ultrasónica de 38 Khz. y más altas

Si se hace una tendencia del incremento en intensidad con el tiempo es posible determinar en que momento se empieza a deteriorar la calidad de la película lubricante y se debe programar la re lubricación.

Si previamente se ha determinado un valor promedio de la intensidad de la emisión ultrasónica que refleje unas condiciones óptimas de la película lubricante, entonces se tiene un valor de referencia para aplicar grasa hasta que la intensidad de la señal acústica retorne a este valor conocido.

Normalmente se acepta que un incremento de 8 a 10 dB $\mu$ V sobre una buena línea base histórica indica la necesidad de re lubricación.



## Implementación del Monitoreo Acústico

No importa que tan progresiva sea una empresa que tenga implementada toda una estrategia de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y otra que tan solo tenga un programa simple de

mantenimiento preventivo, ambas tienen en común la necesidad de lubricar sus máquinas en base a un programa.

La evaluación de estos programas de lubricación es a menudo difícil porque la práctica común es mantener al mínimo los cambios en productos, cantidades y períodos de relubricación si no se producen problemas evidentes que causen paros de los equipos.

Una vez establecidos las rutas de lubricación estas se mantienen muchas veces por años sin realizar ninguna auditoría de su efectividad a pesar que las condiciones de operación de los equipos hayan variado.

Una manera de auditar el programa de lubricación es a través del monitoreo ultrasónico. Como se explicó en párrafos anteriores la intensidad en la señal acústica se incrementa con la disminución de la película lubricante. No importa que sistema de lubricación se emplee, las variaciones en la señal acústica ultrasónica se pueden detectar, cuantificar, hacer tendencias y analizar.

Algunos indicadores de problemas con su programa de lubricación son los siguientes:

- Un consumo anormal de lubricantes (por encima o por debajo), cuando se hace benchmarking con Plantas o Procesos similares
- Consumo excesivo de rodamientos por paros no programados
- Incrementos generales del consumo de potencia en la planta sin que hallan entrado a la red nuevos equipos o incrementado la producción
- Daños frecuentes de motores eléctricos
- Sellos dañados en rodamientos de los motores y chumaceras

## Pasos para implementar el programa

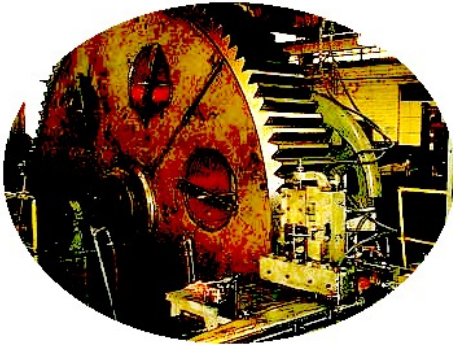
Para facilitar la implementación y desarrollo del programa se recomiendan únicamente seguir cuatro pasos sencillos:





1. Selección de los equipos que se van a incluir en el programa
2. Creación de las rutas de inspección
3. Elaboración de la línea base para cada equipo
4. Redacción de los procedimientos Operacionales (P.O)

## 1. Selección de los equipos



La primera tarea que se debe hacer es elaborar un inventario general de todos los equipos de la planta. Esto se puede hacer basado en el programa existente de lubricación o cualquier otro listado de equipos que se tenga. De este inventario general se seleccionan preferencialmente equipos que:

- Utilicen rodamientos antifricción (bolas, rodillos, agujas)
- Se lubriquen con grasa
- Se re lubriquen periódicamente (manual o automáticamente).

Es muy importante que una vez seleccionados los equipos que utilizan rodamientos antifricción, se identifique muy bien cuales usan rodamientos sellados y cuales no. Aunque sean rodamientos sellados estos se pueden monitorear para determinar cuando están entrando en estado de pre falla.

## 2. Ruta de Inspección

Con el inventario de equipos el siguiente paso es crear las rutas de inspección. Cuando se hace una ruta de inspección se deben definir claramente los siguientes elementos

1. Nombre del equipo
2. Componentes del equipo a monitorear
3. Lubricante en uso
4. Frecuencia de la toma de datos
5. # del Procedimiento operacional (P.O)

Los cuatro primeros datos son claros. El cuarto punto tiene que ver con los settings del equipo, el punto de toma de las lecturas y el valor de la línea base para cada uno de los puntos.

Se adjunta en el apéndice # 01 un ejemplo de un procedimiento operacional.

En la creación de las rutas el punto más difícil de definir es la frecuencia para la inspección y recolección de los datos.

Si se muestrea muy a menudo se requiere mucha mano de obra pero se tiene muy buena información para procesar. Si se muestrea con muy poca frecuencia los datos pueden ser insuficientes y eventualmente se puede perder información que ayude a detectar problemas.

Para definir la frecuencia hay que considerar dos puntos:

- 1- la capacidad del inspector (productividad),
- 2- el tiempo critico para fallar (TCPF) de cada equipo individualmente.

### Capacidad del Inspector

Como un punto de partida se estima que un inspector puede hacer entre 10 y 12 inspecciones puntuales por hora. Esto incluye los siguientes puntos:

- Desplazamiento entre los puntos a inspeccionar
- Toma y almacenamiento de la información en el colector de datos
- Descarga en el computador

En un turno de 8 horas, efectivamente una persona no trabaja más del 80% del tiempo disponible así que se puede estimar que el inspector toma 77 muestras. Dependiendo de la configuración de cada equipo estos pueden tener entre 2 y 4 puntos para muestreo.





Si en promedio tomamos 3 puntos para muestreo, entonces la capacidad del Inspector es de aproximadamente 25 equipos por turno.

### Tiempo crítico para fallar

Este termino refleja el tiempo que transcurre desde que un sistema deja de ser lubricado hasta que colapsa.

No todos los equipos presentan el mismo tiempo para fallar. Algunas aplicaciones donde la carga es alta y el equipo trabaja en ciclos muy largos de tiempo la criticidad es mayor que en aquellos trabajando intermitente y con cargas moderadas.

Para ilustrar el punto tomemos dos sistemas, un motor eléctrico de un extractor de aire que se lubrica manualmente cada mes y un sistema centralizado de grasa que tiene un ciclo de aplicación de grasa cada hora a una caja de rodamientos de una serie de cilindros secadores.

Si se dejan de lubricar el impacto sobre la vida del rodamiento es muy diferente para estos dos equipos. Muy probablemente los rodamientos de los secadores van a fallar en un lapso muy corto de tiempo mientras que el motor del extractor puede continuar hasta el próximo ciclo de re lubricación.

Las siguientes son frecuencias sugeridas:

### Semanalmente o cada 200 horas de operación

- Equipos centralizados de grasa y aceite
- Equipos de aplicación de grasa por spray
- Equipos para aplicación de aceite por niebla/spray

### Quincenal o cada 400 horas de operación

- Equipos lubricados manualmente
- Equipo con sistemas centralizados semi automáticos

### Mensual o cada 800 horas de operación

- Lubricadores automáticos puntuales

Las frecuencias anteriores son solamente sugeridas como puntos de partida mientras se elabora la línea base para cada uno de los puntos en base a un comportamiento histórico.

La línea base no solamente nos proporciona información de los niveles de intensidad acústica permisibles sino también los intervalos de tiempo a los cuales se deben inspeccionar cada punto.

### 3. Construcción de la línea base

La línea base es la "regla" que nos va a permitir analizar los resultados obtenidos y proceder con las acciones necesarias.

Cuando se inspecciona el rodamiento el valor obtenido se compara contra el valor de la línea base y se toman las acciones necesarias.

Los siguientes valores sirven de guía inicial pero al igual que los periodos de inspección cada planta debe encontrar sus propios límites que reflejen su entorno operacional.

#### Incremento sobre línea base dB $\mu$ V

Máximo 3  
3 a 8  
8 a 10  
Mayor de 10

#### Acción a seguir

No acción  
Programa re lubricación  
Re lubrique  
Ponga en observación

La construcción de la línea va a depender del sistema de lubricación que se esta utilizando.

### Lubricación Manual

Para tener una línea base adecuada se deben tomar suficientes datos entre los periodos de relubricación.





Tome la primera lectura justamente antes de re lubricar de acuerdo a las practicas que ya están establecidas.

Una vez que se re lubrica deje transcurrir varios minutos y tome una nueva lectura. Guarde estas lecturas para referencia. Tome al menos 10 lecturas mas (una semanal). Promedie matemáticamente los valores en dB $\mu$ V obtenidos (no incluya la lectura antes de lubricar). El valor promedio es su línea base.

### Sistemas Centralizados Automáticos

En los sistemas de este tipo donde el periodo de inyección de lubricante es muy corto, a lo máximo de horas, la línea base se construye en un periodo más corto de tiempo. Tome la lectura unos minutos después de que se inyecta el lubricante. (dependiendo del tamaño del rodamiento). Tome lecturas en dB $\mu$ V para cada punto lubricado al menos durante 5 ciclos de inyección. Promedie para cada punto los valores siendo el resultado su valor de línea base.

### Lubricadores puntuales automáticos

Para estos sistemas la línea base se toma justamente cuando se instalan por primera vez el lubricador. Se toma la lectura luego de un tiempo de operación (minutos) y se guarda como línea base. Hay que conocer para cada lubricador cual frecuencia de re lubricación se le programo.

## 4. Procedimientos Operacionales

Con el objetivo de garantizar que el programa genere resultados positivos en la detección de situaciones anormales en la gestión de la lubricación de la planta, todos los inspectores deben seguir los mismos procedimientos para la inspección ultrasónica tanto en los ajustes del equipo y sensor, el punto y la forma de tomar las lecturas así como entender el objetivo específico que se busca al analizar cada punto.

La manera mas practica es describiendo en hojas individuales los procedimientos operacionales. Los P.O deben contener: (Ver Apéndice 1)

- La identificación del equipo
- La identificación del punto
- La frecuencia de inspección
- El valor de la línea base
- Los ajustes del equipo
- El objetivo de la inspección.
- Fotografía del equipo/punto de inspección
- Acciones a seguir según los resultados de la inspección.

Uno de los puntos más importantes en cualquier programa de muestreo es la repetibilidad de los resultados. En los programas de monitoreo por ultrasonido hay una serie de recomendaciones que se deben seguir al tomar las lecturas y que deben ser parte integrante de los procedimientos operacionales.

Las siguientes son las más relevantes:

- Tomar las lecturas en el mismo punto
- Utilizar los ajustes en el equipo de ultrasonido recomendados por el Manual del Usuario
- Siempre utilizar el mismo sensor para tomar las lecturas.
- Asegúrese que la maquina que se esta inspeccionando tenga las mismas condiciones operacionales que tenia cuando se elaboro la línea base.
- Conocer previamente cualquier mantenimiento que se haya efectuado sobre la maquina y que pueda influir en los resultados (ejemplo: cambio de rodamientos, lubricación etc.).
- Escuchar siempre la calidad del sonido, no guiarse únicamente por el valor de la lectura de la intensidad en dB $\mu$ V
- 

También es muy importante el objetivo del procedimiento operacional.





Este le ayuda al inspector a entender porque se hace y que se busca.

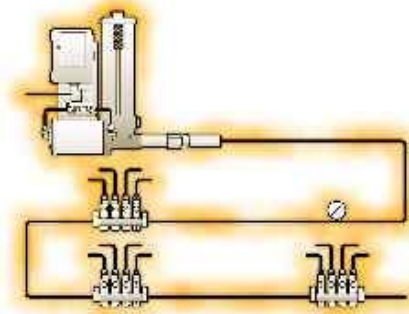
Los siguientes son objetivos que se pueden aplicarse en los procedimientos operacionales según el sistema de lubricación que se emplee:

## Lubricación Manual con pistola graser



Verificar que la señal acústica no se halla incrementado por encima de la línea base establecida para el elemento.

## Sistemas centralizados multipunto



Verificar que después del ciclo de inyección la intensidad de la señal ultrasónica en cada punto retorne al nivel de intensidad de la línea base.

## Sistemas automático puntuales

Verificar que la intensidad de la señal no este por encima del nivel máximo recomendado para re lubricar (8 a 10 dB $\mu$ V)

## Sistemas automáticos por spray

Es el mismo objetivo del sistema centralizado multipunto agregándole la detección de fugas de aire en el sistema.





Apéndice # 1

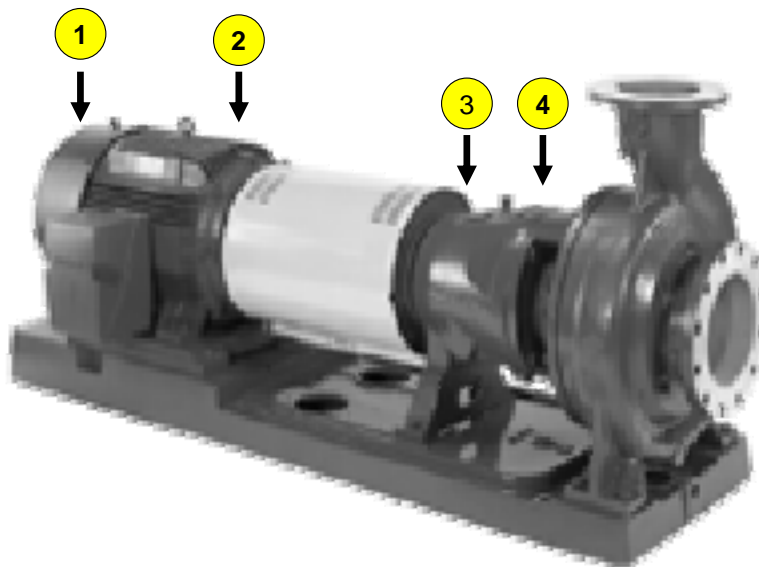
### SDT North América

Monitoreo Acústico de la Lubricación  
Procedimiento Operacional

Objetivo

**Verificar que la señal acústica no se halla incrementado por encima de la línea base establecida**

<b>Planta</b>	Tratamiento de agua			<b>P.O #</b>	01- 0106
<b>Equipo</b>	Bomba Transferencia # 5			<b>ID</b>	BT 05
<b>Puntos</b>	Rodamiento ME	Rodamiento MI	Rodamiento BLM	Rodamiento BLI	
<b>Frecuencia inspección</b>	Mensual	Mensual	Quincenal	Quincenal	
<b>Tipo de Sensor</b>	Contacto	Contacto	Contacto	Contacto	
<b>Continuo / Máximo Valor</b>	Máximo Valor	Máximo Valor	Máximo Valor	Máximo Valor	
<b>dBµV Línea base</b>	23	23	30	34	
<b>Tiempo colección</b>	5 sec	5 sec	5 sec	5 sec	
<b>Frecuencia Lubricación</b>	Sellado	Sellado	Semestral	Semestral	
<b>Acción</b>					



Bomba Transferencia # 5 – Agosto 2006

