



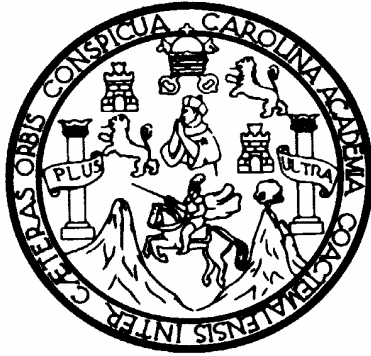
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO PARA MAQUINARIA INDUSTRIAL
DE UNA EMBOTELLADORA**

ELMAN ANÍBAL REVOLORIO MORAGA
Asesorado por Ing. Elvis José Álvarez Valdez

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO PARA MAQUINARIA INDUSTRIAL
DE UNA EMBOTELLADORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

ELMAN ANÍBAL REVOLORIO MORAGA

**ASESORADO POR ING. ELVIS JOSÉ ALVAREZ VALDEZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

DEDICATORIA

A

Dios

Creador de toda ciencia y
fuente de sabiduría

Mi padre

Aníbal Revolorio

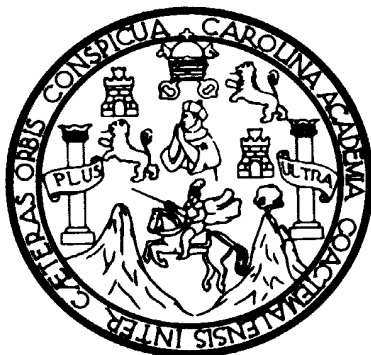
Mi esposa

Amparito Alvarez de R.

Mis hijos

Marcos y Lissita

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRÁCTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---|
| DECANO | Ing. Herberth René Miranda Barrios |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Sarceño Zepeda |
| EXAMINADOR | Ing. Hector B.Santizo |
| EXAMINADOR | Ing. Julio Cesar Molina Zaldaña |
| SECRETARIA | Inga. Gilda Maria Castellanos de Illescas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MAQUINARIA INDUSTRIAL DE UNA EMBOTELLADORA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 06 de marzo de 2003.

Elman Anibal Revolorio Moraga

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | IV |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | VIII |
| RESUMEN | IX |
| OBJETIVOS | XI |
| INTRODUCCIÓN | XII |
| | |
| 1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO | 1 |
| | |
| 1.1. ¿Qué es mantenimiento predictivo? | 1 |
| 1.2. ¿Por qué mantenimiento predictivo? | 2 |
| 1.3. Ventajas del mantenimiento predictivo sobre el preventivo | 2 |
| 1.4. Filosofía del mantenimiento predictivo | 7 |
| | |
| 2. MÉTODOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO | 9 |
| | |
| 2.1. Estudios y análisis predictivos | 9 |
| 2,1,1 Análisis de vibración | 12 |
| 2.1.2 Análisis de aceite | 15 |
| 2.1.3 Análisis de inspección termográfica | 33 |

| | | |
|-----|--------------------------------------|----|
| 2.2 | Selección de mediciones | 36 |
| 2.3 | Identificación del equipo | 38 |
| 2.4 | Estableciendo intervalos de medición | 42 |
| 2.5 | Monitoreo de condición | 44 |
| 2.6 | Desviaciones de condición normal | 44 |

3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS TERMOGRÁFICO PARA COMPRESORES DE AIRE TIPO TORNILLO EN UNA EMBOTELLADORA

| | | |
|-------|--|----|
| | | 46 |
| 3.1. | Funcionamiento y operación del equipo de aire comprimido | 49 |
| 3.1.1 | Creación de un banco de datos | 52 |
| 3.1.2 | Historial de la maquinaria | 52 |
| 3.1.3 | Influencia de parámetros y curvas de desgaste | 53 |
| 3.2. | Inicio del ciclo de operación de la maquinaria | 55 |
| 3.2.1 | Inicio del monitoreo predictivo | 56 |
| 3.3. | Resultados a 500 horas de operación | 58 |
| 3.4. | Resultados a 1000 horas de operación | 58 |
| 3.5. | Resultados a 2000 horas de operación | 59 |
| 3.6. | Observaciones e inspecciones | 59 |
| 3.6.1 | Capacitación del personal | 60 |
| 3.7. | Ejemplos de análisis termográfico | 61 |
| 3.8. | Tendencias y análisis gráfico | 69 |
| 3.9. | Estimado de la severidad de cambios de condición | 76 |
| 3,10. | Seguimiento y reportes | 79 |
| 3.11. | Importancia del manejo adecuado del historial del equipo | 80 |

| | |
|---|-----------|
| 3.12. Conclusión, eficiencia del mantenimiento predictivo | 80 |
| CONCLUSIONES | 84 |
| RECOMENDACIONES | 86 |
| BIBLIOGRAFÍA | 88 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| No. | Título | Pág. |
|-----|---|------|
| 1 | Compresor de tornillo sin fin | 50 |
| 2 | Ubicación de compresores y secadores | 51 |
| 3 | Depósito de aceite de compresor de aire | 63 |
| 4 | Compresor de tornillo de 75 hp | 63 |
| 5 | Contactores de sistema eléctrico | 64 |
| 6 | Motor eléctrico principal de 75 hp | 64 |
| 7 | Depósito de aceite. 500 horas | 65 |
| 8 | Depósito de aceite. 1000 horas | 65 |
| 9 | Depósito de aceite. 2000 horas | 65 |
| 10 | Compresor de tornillo. 500 horas | 66 |
| 11 | Compresor de tornillo. 1000 horas | 66 |

| | | |
|----|--|----|
| 12 | Compresor de tornillo. 2000 horas | 66 |
| 13 | Contactores sistema eléctrico 500 horas | 67 |
| 14 | Contactores sistema eléctrico 1000 horas | 67 |
| 15 | Contactores sistema eléctrico 2000 horas | 67 |
| 16 | Motor eléctrico principal 500 horas | 68 |
| 17 | Motor eléctrico principal 1000 horas | 68 |
| 18 | Motor eléctrico principal 2000 horas | 68 |
| 19 | Gráfica 1 Deposito aceite compresor | 70 |
| 20 | Compresor de tornillo | 71 |
| 21 | Contactores sistema eléctrico | 72 |
| 22 | Motor eléctrico principal 75 hp | 73 |

TABLAS

| No. | Título | Pág. |
|-----|--|------|
| I | Pruebas de laboratorio a Aceites usados | 20 |
| II | Valores máximos o mínimos permisibles para diferentes pruebas de laboratorio | 24 |
| III | Depósito de aceite | 70 |
| IV | Compresor de tornillo 75 hp | 71 |
| V | Sistema eléctrico de contactores | 72 |
| VI | Motor eléctrico de 75 hp | 73 |

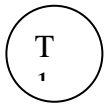
LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo

Significado



Compresor de aire



Tanque de compensación



Secador de aire

GLOSARIO

| | |
|-------------|--|
| ASTM | Sociedad americana de ensayo de materiales |
| ATF | Alternativa de sistemas de combustibles |
| API | Instituto americano de petróleo |
| CSt | <i>Centistokes</i> unidad de medida de viscosidad cinemática |
| EP | Extrema presión |
| ISO | Organización internacional de estándares |
| IR | Análisis infrarrojo |
| FTIR | <i>Fourier transforms IR</i> |
| KOH | Hidróxido de potasio |
| OSU | Universidad del estado de Oklahoma |
| PM | Mantenimiento preventivo |
| PMPd | Mantenimiento predictivo |
| PC | <i>Personal computer</i> |
| ppm | Partículas por millar |
| pH | Grado de alcalinidad y acidez de líquidos |
| RM | Mantenimiento reactivo o correctivo |
| RPM | Revoluciones por minuto |
| SSU | <i>Saybolt universal seconds</i> |
| SAE | Sociedad de ingenieros automotores |
| TAN | Numero de ácido total |
| TBN | Numero básico total |
| VI | Índice de viscosidad |

RESUMEN

Este trabajo de graduación ha sido desarrollado con el objeto de brindar una herramienta práctica, para el soporte de las actividades diarias del personal de mantenimiento de maquinaria industrial.

Todo el programa de mantenimiento predictivo involucra una serie de principios generales y específicos, que afectan directamente la calidad del producto final, la eficiencia y la productividad de la planta. Por ello, se considera oportuno agrupar y explicar los métodos más importantes y eficientes de mantenimiento predictivo para un mejor funcionamiento, operación y mantenimiento del equipo utilizado en el proceso.

Al ser el programa de mantenimiento predictivo un método poco conocido, este trabajo presentará una breve descripción de los métodos de mantenimiento más conocidos, de cómo se realizan y una comparación de uno con respecto a otro. Las descripciones de cada programa, contienen información que va desde el concepto básico hasta la forma de efectuarlo. El método analizado, es el que actualmente se utiliza en diversas industrias nacionales, aún cuando no son los más utilizados a nivel nacional y mundial, es parte de este trabajo demostrar la buena aceptación que ha tenido y su eficiencia.

Se espera tener una comprensión clara de los principios, para que este conocimiento proporcione guías para realizar mantenimientos predictivos controlados de alta productividad y que sirva como primer paso para fomentar la experimentación y desarrollo de mejoras en los programas para los mantenimientos en los equipos de producción en la industria.

OBJETIVOS

General

Proporcionar una guía práctica que permita conocer fácilmente a profesionales, estudiantes y operadores, los métodos de mantenimiento predictivo y su implementación en la industria.

Específicos

1. Elaborar un programa práctico de mantenimiento predictivo que ayude a encargados y operadores a optimizar el funcionamiento del equipo de producción en la industria.
2. Agrupar normas y procedimientos que permitan hacer correctamente la distribución, operación, mantenimiento y monitoreo del equipo de producción para el proceso de envasado de bebidas.
3. Agrupar toda la información técnica relacionada con el equipo de compresión de aire utilizado en el proceso de embotellado de bebidas (compresores tipo tornillo, secadores, tanques de compensación, separadores, etc.) que ayude a seleccionar, instalar y montar un programa de mantenimiento predictivo y operar eficientemente.
- 4.

INTRODUCCIÓN

La implementación del programa de mantenimiento predictivo es un recurso valioso en la actualidad, con el que se mejora el funcionamiento de la maquinaria industrial, el programa brinda una serie de ventajas al momento de llevarlo a cabo.

Por medio de un programa de mantenimiento predictivo se obtiene el ahorro de horas de trabajo, tanto de maquinaria como recurso humano, lo que de otra manera implica horas de trabajo constantes dedicadas a mantenimientos preventivos o correctivos, lo que trae como consecuencia desgaste de los componentes de las máquinas. Es aquí donde la función del personal encargado del mantenimiento del equipo juega un papel relevante en el manejo adecuado del plan de mantenimiento.

Mantenimiento predictivo descansa en características mensurables o medibles que definen la condición con precisión. Se puede definir como una herramienta de planeación de mantenimiento usada para determinar la necesidad de acciones correctivas de mantenimiento, sin necesidad de parar la producción o parar el equipo. El área más importante de la empresa es la de producción, no esperar que la maquinaria se dañe es de vital importancia, si existe la forma de prevenirlo, reducir costos, minimizar riesgos, preparar al personal para prevenir y corregir desperfectos en las máquinas e instalaciones, son factores que hay que tomar en cuenta al implementar el programa.

Un plan bien desarrollado permite predecir el momento adecuado en que se debe efectuar una parada para mantenimiento, el conocer las fechas programadas para el mantenimiento permite a los encargados preparar los materiales y el personal para realizar eficientemente una reparación. Además, permite que el proceso de producción no sea interrumpido.

La información para el desarrollo del programa de mantenimiento se obtiene de diversas formas, dentro de ellas se puede citar algunos métodos como: análisis de vibración, análisis de aceite y análisis termográfico.

Para predecir el momento de una parada de mantenimiento se toma en cuenta el criterio profesional de la persona responsable del programa de mantenimiento, se apoya en alguno de estos métodos, el método por análisis termográfico es el que nos ocupa en este caso. Al usar la tecnología moderna basada en cámaras infrarrojas podemos detectar los menores problemas y ayudar a la empresa a reducir el gasto energético y evitarle paros no programados.

Una cámara de termografía infrarroja es un artefacto que sin tener contacto físico, detecta la energía infrarroja (calor) del cuerpo y convierte esto en una señal electrónica, la que es procesada para producir una imagen de televisión o video para realizar el cálculo de temperatura. Captar el calor por la cámara infrarroja puede ser cuantificado o medido en una forma precisa y permite no sólo realizar el monitoreo térmico, sino también identificar y evaluar la severidad relativa de los problemas relacionados al calor.

1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

1.1 ¿Qué es mantenimiento predictivo?

Predecir significa anunciar o pronosticar algún suceso que va a pasar en el futuro. Bajo esa definición también actúa el término **Mantenimiento predictivo**, el cual tiene por objeto predecir las fallas; que mediante un trabajo realizado a causa de desgaste y vida útil de los equipos, sucederán y nos ayudarán a decidir el momento adecuado de la reparación de un componente determinado de un equipo

El Mantenimiento Predictivo se puede definir como una herramienta de planeación usada para determinar la necesidad de acciones correctivas de mantenimiento. Los datos obtenidos en un programa de mantenimiento predictivo, proporcionan información para aumentar capacidad de producción, calidad del producto y efectividad de la planta.

Cuando el Mantenimiento Predictivo se enfoca hacia maquinaria industrial, utilizada en una embotelladora de aguas gaseosas, y de acuerdo a los requerimientos de producción, podemos pensar que es equipo diseñado para trabajar 24 horas al día, en donde la demanda es grande, quiere decir que su aporte a la producción será proyectado sobre un porcentaje cercano al 100% de su utilización.

Cada hora de paro disminuye la capacidad de producción de la planta, se obtiene de lo anterior que como base, el mantenimiento predictivo busca la máxima utilización del equipo y sus componentes.

1.2 ¿Por qué mantenimiento predictivo?

La justificación más acertada del ¿por qué? del mantenimiento predictivo es que busca adelantarse a los acontecimientos prediciendo o pronosticando de una manera bastante cercana y con bases teóricas, sólidas y datos confiables, el comportamiento de los componentes de un equipo.

1.3 Ventajas del mantenimiento predictivo sobre el preventivo

El mantenimiento es uno de los factores indispensables para el buen funcionamiento y desarrollo de las plantas industriales. Se puede definir como un conjunto de técnicas y sistemas que actuando sobre los medios de producción permiten:

- Reparar averías que se presenten,
- Prevención de averías mediante revisiones y otras técnicas más complejas como:
técnicas estadísticas y seguimiento y diagnóstico de máquinas,
- Especificación de las normas de manipulación y buen funcionamiento de los operadores de las máquinas,
- Perfeccionamiento de diseños sucesivos de los medios.

Sin duda hay muchas tendencias de mantenimientos, todas ellas nos llevan a los mismos objetivos, a establecer normas que dicten procedimientos a seguir para llevar a cabo mantenimientos de rutina, reparaciones mayores y menores con el propósito de mantener en óptimas condiciones los equipos. Se puede decir que existen 4 tipos básicos de mantenimiento:

- Correctivo
- Preventivo
- Funcional
- Predictivo

Mantenimiento preventivo (PM)

Está basado en intervalos de tiempo o kilometraje, para realizar tareas específicas de mantenimiento tales como, cambios de fluidos o filtros, ajustes, inspecciones, reparaciones generales. Es preventivo porque presume que esas acciones previenen daños mayores a las partes. La programación está basada usualmente en:

- Requerimientos de las garantías de los equipos fijos o móviles.
- Experiencia de mantenimiento y la recomendación de los fabricantes de fluidos (lubricantes) y filtros (manuales)

En general ha sido una exitosa práctica, pero no es necesariamente la más efectiva en cuanto a costos.

Las fallas igual ocurren y la máxima confianza y expectativa de vida útil está sacrificada en los programas de PM. El Mantenimiento Preventivo consiste en la realización de rondas de supervisión o de sustitución en períodos fijos de tiempo. El mantenimiento Predictivo consiste en parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar un fallo antes de que este tenga consecuencias más graves.

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo está programado, pero basado en las necesidades comprobadas de las partes de un equipo más que en un programa total. El estado se determina por una combinación de técnicas, análisis de aceite, vibraciones, sistemas electrónicos de pruebas, registro de datos operativos (temperatura, velocidad, carga, tiempo de trabajo vrs. tiempo).

Los datos se evalúan en términos de tendencia y desviaciones de las tendencias, luego se ve si se toma o no acción. En todos los casos los problemas menores se corrigen antes de que ocasionen un problema mayor. Pero como envuelve un proceso de analizar y anticiparse, la decisión tomada está en función de las tendencias obtenidas, y así se obtiene un mantenimiento predictivo.

Estos programas son comunes en plantas industriales. No son comunes en flotas todavía, pero la actual tendencia está conduciendo a establecer este concepto de mantenimiento.

En general, el Mantenimiento Predictivo, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué período de tiempo, ese fallo va a tomar relevancia, para así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

Ambas tendencias, ya sean de mantenimiento predictivo o el preventivo, cumplen con la función principal del mantenimiento. ¿Cuál de ambas lo llevaría a cabo más eficientemente?. La respuesta sería, la que permita tener trabajando el equipo eficientemente más horas, y esto es exactamente lo que se busca al encontrar el momento adecuado para efectuar el mantenimiento.

Ventajas del mantenimiento predictivo:

- Reduce el tiempo de parada al conocerse exactamente qué órgano es el que falla.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Requiere una plantilla de mantenimiento más reducida.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico y operacional muy útil en éstos casos.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.

- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

1.4 Filosofía de mantenimiento predictivo

Mantenimiento predictivo descansa en un conocimiento preciso de condición, obtenido sin interrumpir operación, para determinar requerimientos y planificación de mantenimiento. Idealmente equipo y componentes en buena condición no se tocan. El mantenimiento se dirige hacia deficiencias conocidas.

Mantenimiento predictivo descansa en características mensurables o medibles que definen la condición con precisión. En muchos casos, mediciones que determinan condición con precisión se obtienen rápidamente y se elaboran con facilidad. En otros casos, características que señalan el problema pueden ser muy difíciles o costosas, o muy difíciles de interpretar. Como resultado, no existe nada semejante a un programa de mantenimiento 100 % predictivo. El mejor y más efectivo programa de mantenimiento consistirá en mantenimiento predictivo donde sea posible, aumentado con inspecciones visuales y aún reemplazo de partes en funcionamiento basado en la experiencia.

El objetivo primario de mantenimiento predictivo es minimizar, con confianza y seguridad, el número de inspecciones visuales y daños no esperados. Mediciones como vibración y temperatura son entendidas por instinto como indicadores de condición. Al corregir problemas, se debe ser cuidadoso para establecer claramente causa y efecto. Por ejemplo, falta de balance excesivo produce vibración, que a su vez causa fallo del rodamiento.

El fallo actual del rodamiento puede manifestarse por incremento de vibración, sin embargo, es excepcionalmente importante reconocer que el aumento de vibración es únicamente un síntoma, en este caso el problema real es la falta de balance. Si no se quiere que los rodamientos fallen nuevamente, será mejor que se corrija el desbalance

Hay algunas cosas que se deben mantener en mente si el mantenimiento predictivo ha de trabajar en la forma más efectiva:

- Estar atentos a síntomas, buscar y corregir problemas fundamentales; las necesidades de mantenimiento disminuirán entonces.
- Estar especialmente vigilantes a deficiencias de diseño. Problemas y mantenimiento excesivo son con frecuencia causados por defecto o defectos de diseño. En esta situación, corrigiendo la deficiencia básica es la única manera de mejorar el mantenimiento.

2. MÉTODOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

2.1 Estudios y análisis predictivos

El mantenimiento industrial inicia sus cambios significativos con alto nivel en las grandes empresas, cuando éstas dirigen su atención a las actividades de mantenimiento que día a día incrementan sus costos abatiendo los rubros de utilidades de planta.

A principios de los 80 el Mantenimiento Correctivo o Reactivo, presentó el método inmediato de corrección de fallas de líneas de producción con altos costos por horas extraordinarias de trabajos por daños a la maquinaria y equipos. Cuando aparecieron las computadoras centrales, fue posible implementar un mantenimiento basado en un calendario el cual fue denominado: Estrategia de Mantenimiento Preventivo, es entonces cuando aparecen las órdenes de trabajo.

A finales de los años 80 los avances tecnológicos proporcionan una instrumentación capaz de identificar los problemas de las máquinas con mediciones de las condiciones operativas y prediciendo los requisitos de mantenimiento, llamando a esta tecnología: Mantenimiento Predictivo.

Recientemente se ha agregado dicha tecnología a las plantas industriales, la cual se enfoca en la reducción de mantenimiento total requerido y maximización de la vida útil de la maquinaria por medio de la eliminación sistemática de las fuentes de fallas.

Mantenimiento basado en confiabilidad. Es la integración balanceada de estrategias de Mantenimiento Preventivo, Proactivo y Mantenimiento Predictivo. El seguimiento a los resultados obtenidos por el Mantenimiento basado en confiabilidad, requeridos por alta administración se basa en evaluaciones de secciones completas de planta en lugar de analizar eventos independientes.

Para llevar a cabo unos estudios y análisis predictivos existen las siguientes disciplinas de mantenimiento predictivo, todas ellas consideradas como pruebas no destructivas.

- Análisis de vibración.
- Análisis de aceite.
- Análisis de corriente a rotores
- Inspección termográfica
- Inspección boroscópica y fibroscópica.
- Alineación de precisión con sistema de rayo láser.
- Análisis de combustión.
- Balanceo.
- Análisis de integridad y seguridad de ductos de manejo de hidrocarburos.

Cada una de estas 9 disciplinas utilizadas para la elaboración de un diagnóstico del estado de la maquinaria en una empresa, se han convertido en un eficiente método, es preciso mencionar los beneficios en planta que éstas proporcionan.

- Bajo costo de mantenimiento
- Incremento en la producción a través de la reducción de paros repentinos
- Seguridad al personal y protección del medio ambiente
- Aumento en la calidad de producción
- Aumento de vida útil en maquinaria
- Considerable ahorro de energía

A continuación se analizan 3 métodos que son los más utilizados en el ámbito industrial, los cuales son:

1. Análisis de vibración
2. Análisis de aceite
3. Análisis termográfico

2.1.1 Análisis de vibración

La mayoría de los equipos de una planta industrial son mecánico-rotativos, la aplicación del análisis de vibraciones obtiene un carácter de vital importancia ya que al ser incluido a un programa general de mantenimiento proporciona los siguientes beneficios en planta:

- Bajo costo de mantenimiento
- Incremento en la producción a través de la reducción de los períodos de interrupción
- Seguridad al personal y protección al medio ambiente
- Aumento de la vida útil en máquinas
- Ahorro de energía

Años atrás, los beneficios arriba citados resultaban ser una utopía, ya que mientras técnicos e ingenieros dedicaban por completo su atención a algún desperfecto, el proceso productivo empezaba a ser afectado en algún o alguno otros puntos, por lo tanto, la posibilidad de organizar un programa de mantenimiento resultaba prácticamente imposible. Con el monitoreo programado en la vibración de una máquina, es posible determinar las condiciones mecánicas y físicas de los componentes de la misma. El almacenamiento de los datos registrados permitirá tener un historial exacto, mismo que servirá como documento de consulta para la programación del mantenimiento total o parcial permitiendo de esta manera eliminar por completo los paros repentinos en el proceso productivo de la planta.

El análisis de vibración permite detectar los siguientes problemas:

- Desbalance
- Desalinamiento de acoples
- Flechas torcidas
- Estator excéntrico
- Resonancias
- Engranajes gastados, dañados o excéntricos
- Bandas de transmisión en mal estado
- Fuerzas electromagnéticas
- Soltura mecánica
- Mal anclaje
- Balero dañado (fallas en pista interna y/o externa)
- Rozamiento

2.1.1.1 Instrumento de medición

Hay diversidad de instrumentos de medición fabricados con márgenes de error muy pequeños, los cuales dan un dato exacto o muy cercano de lo requerido, además combinan su gran facilidad de manejo con los últimos avances tecnológicos, para lograr un control predictivo de la maquinaria simple y automatizada. El analizador de vibraciones puede ser portátil y cuenta con indicador de datos con amplia visualización del punto de medida.

2.1.1.2 Toma de datos

Antes de iniciar el análisis de vibración de una máquina, será necesario crear una base de datos, misma que quedará capturada en el analizador de vibraciones. Esto permitirá tener un registro individual del total de máquinas programadas para su estudio. Para registrar las vibraciones de cada punto; se utiliza un sensor traductor que permite captar la vibración mecánica y transformarla en señal eléctrica, ésta se visualiza en forma de espectro. Adicionalmente, se pueden obtener varias medidas de cada punto de la máquina y almacenarlas en la memoria del analizador.

2.1.1.3 Presentación de resultado

Los datos almacenados, son transferidos a una PC en la cual ha sido instalado previamente el *software* que se esté utilizando. A partir de ello, se analizarán los puntos registrados siendo posible entonces adquirir un diagnóstico exacto del estado operativo de la máquina. La emisión de los reportes correspondientes será presentada en forma impresa y éste reportará las condiciones correctivas a tomar, enfatizando aquellas que por su severidad deban ser atendidas en forma inmediata.

2.1.2 Análisis de aceite

Una de las disciplinas del mantenimiento predictivo más económica y fácil de implementar en las plantas industriales es el análisis de aceite. Este análisis tiene una doble vertiente, por un lado; el estado operativo del aceite, que permite identificar la vida útil del aceite y por ende optimizar el uso del mismo. Por otro lado; el estudio de las partículas en suspensión que determinarán el factor de desgaste de los metales de la máquina.

El éxito de un análisis de laboratorio a un aceite nuevo o usado no depende solamente de saber realizar las pruebas y en interpretar los resultados obtenidos, sino también en conocer exactamente cuáles son las que se le deben efectuar. Mientras que, por ejemplo la prueba de demulsibilidad para un aceite de tipo turbina es importante, no así para un aceite de tipo detergente-dispersante. Siempre se debe buscar en cualquier caso que el análisis periódico del aceite sea el mejor seguro de vida que puede garantizar la longevidad de un equipo. En la tabla I que seguidamente se presenta se especifican las pruebas de laboratorio para aceites usados, de acuerdo con el tipo de servicio.

2.1.2.1 Instrumento de medición

Se utilizan diferentes tipos de analizadores, depende del equipo que se tenga en el laboratorio al que se esté contratando para los servicios.

Es importante destacar que en la mayoría de las situaciones se envían las muestras a un laboratorio que es una empresa independiente dedicada a prestar el servicio. Este sistema permite la aplicación dentro de cualquier programa de mantenimiento predictivo.

Los análisis de laboratorio son una valiosa herramienta dentro del mantenimiento predictivo y preventivo, siempre y cuando los resultados se sepan interpretar. Poco o nada se ganaría con mandar al laboratorio sin número de muestras de aceite usado, sí en el momento de obtener los resultados el usuario no tiene los conceptos bien claros para interpretar y correlacionar las diferentes pruebas efectuadas. Es igualmente importante que a las muestras que se envíen al laboratorio se le realicen los análisis que realmente necesiten, porque dependiendo del tipo de aceite puede requerir más o menos pruebas, las cuales pueden resultar importantes para un tipo de aceite e inservibles para otro. Las pruebas efectuadas que no se requieran elevan innecesariamente el costo del análisis.

En la tabla I que se presenta a continuación aparecen los valores máximos y mínimos permisibles para las diferentes pruebas de laboratorio efectuadas bajo las normas ASTM.

Por ejemplo: para un compresor de aire, el sistema de tornillos sin fin utiliza un aceite especial al cual se decide hacerle un seguimiento con análisis de laboratorio para determinar la frecuencia con la cual se deben cambiar y la protección que este aceite le está dando a los elementos lubricados.

Solución: adicionalmente con la toma de la muestra de aceite, se deben tener en cuenta los siguientes datos:

- 1) Nombre del aceite
- 2) Capacidad del compresor
- 3) Elementos lubricados
- 4) Fecha del último cambio de aceite

2.1.2.2 Toma de datos

Las muestras de aceites usados para ser analizadas en el laboratorio se den tomar recién detenido el mecanismo, con el fin de que todas las impurezas (materiales solubles y no solubles) se hallen en suspensión en el aceite y los resultados que se obtengan sean los más representativos posibles. Nunca se debe tomar la muestra del fondo del depósito o del filtro porque en estas partes se encuentra la mayor concentración de impurezas y las cuales no recirculan con el aceite. Al momento de tomar muestras periódicas de aceite a los equipos críticos de una planta, es conveniente colocar a cada uno de ellos un niple con válvula para tomar dicha muestra. Si el sistema de lubricación es por salpique, el niple debe quedar ubicado en la mitad de la distancia entre el fondo del depósito de aceite (carter) y el nivel normal de aceite. En sistemas de circulación se debe colocar entre la bomba y el filtro de aceite. De ser posible, la muestra de aceite se debe tomar a la misma hora del día y cuando la máquina esté sometida a las condiciones más críticas de operación.

La primera muestra de aceite que se tome al abrir la válvula no se debe tener en cuenta, sino la siguiente, porque, de lo contrario, se estaría analizando el aceite acumulado en esa sección de la tubería. La cantidad necesaria de aceite que se debe mandar al laboratorio es de 0.5 litros, cualquiera que sea el tipo de aceite, excepto cuando se va a analizar adicionalmente la prueba de herrumbre, en la cual se requieren 0.5 litros más.

Cuando se vaya a analizar una grasa nueva se debe enviar al laboratorio una libra de ella. El envase utilizado para guardar la muestra de aceite debe estar completamente limpio y contar con una tapa hermética, puede ser de vidrio o de un plástico duro, blando o traslucido, que no lo deteriore el aceite. Los aceites para transformadores y turbinas de vapor son sensibles a la luz, por lo tanto, las muestras que se tomen se deben almacenar en botellas de color oscuro. El recipiente empleado para la muestra debe ir debidamente marcado para su completa identificación. Los datos que se deben especificar con la muestra de aceite son:

- Nombre y marca del aceite
- Volumen de aceite que utiliza el equipo, galones
- Fecha del último cambio
- Cantidad agregada desde el último cambio hasta la fecha de la toma de la muestra
- Temperatura de operación del aceite
- Medio en el cual trabajó la máquina
- Fecha de toma de la muestra de aceite

En algunos casos cuando el aceite trabaja bajo condiciones críticas, es aconsejable colocar otros datos adicionales como la presencia o no de demasiada cantidad de espuma, emulsiónamiento, variación en su color, presencia de ciertos olores anormales, como a quemado en el aceite industrial, a gasolina, en los detergentes, o a amoníaco en los de refrigeración.

Los datos anteriores, junto con el reporte del laboratorio, sirven para determinar con mayor exactitud cuál ha sido el comportamiento del aceite y permiten sacar conclusiones más precisas y hacer una programación de mantenimientos predictivos de acuerdo a los requerimientos y necesidades de la industria o empresa.

En la tabla I se especifican las pruebas de laboratorio para aceites usados, de acuerdo con el tipo de servicio, por ejemplo la gravedad específica bajo el método ASTM D-287 aplicado a reductores, compresores de aire, sistemas hidráulicos, sistemas circulatorios, bombas, motores de gasolina y Diesel, turbinas de vapor, dieléctricos, engranajes automotores, transmisiones automáticas ATF, etc.

Esta tabla en la parte final nos indica entre paréntesis el número y lo relacionado a la prueba, si es opcional, o para diferentes temperaturas, o sí el aceite es del tipo EP, si hay cobre, bronce etc. Podemos tener una breve información del tipo de aceite relacionado con el sistema que está lubricando y la prueba requerida.

| Prueba | Método | Reduc- tores | Compresores | | Hidráulicos | Bombas | | Motores | | Engran. Automo- Tores | Transmi- siones automat. ATF |
|--------------------------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|-------------|----------|--------|---------|------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| | | | Refrige- ración | Gases h2s Isobut. propano | | Gasolina | Diesel | Gas | Eléctrico. | | |
| Formación de Espuma. | D-892 | [1] | | | [1] | [1] | | | | [1] | |
| Agua y sedi- mentos | D-95 D-96 | [3] | | | [3] | | | | | | |
| Corrosión al cobre | D-130 | [4] | | | [4] | | | | | | |
| Herrumbre | D-665 | [5] | | | [5] | | | | | | |
| Contenido de Cenizas. | D-482 D-874 | [1] | | | [1] | | X | X | | | |
| Rigidez dieléctrica | D-1816 D-1816 | | X | | | | | | | | |
| Contenido de azufre | D-1266 | [6] | | | | | | | | X | |
| Contenido de Cloro | D-808 D-1317 | [6] | | | | | | | | [6] | |
| Silicio | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Calcio | | | | | | | X | X | | | |
| Bario | | | | | | | X | X | | | |
| Magnesio | | | | | | | X | X | | | |
| Hierro | | X | X | | X | X | X | X | X | X | X |
| Cromo | | | | | | | X | X | | | |
| Aluminio | | | | | | | X | X | | | |
| Estaño | | | | | | | X | X | | | |
| | | [7] | [7] | | [7] | [7] | X | X | [7] | [7] | [7] |
| Plata | | | | | | | [8] | X | | | |

| Prueba | Método | Reduc- tores | Compresores | | Hidráulicos | Bombas | | Motores | | Engran. automotores | Transmisiones automat. ATF |
|---------|--------|-----------------|---------------|---------------------------------|-------------|----------|--------|---------|------------|------------------------|----------------------------------|
| | | | Refrigeración | Gases h2s Isobut. propano | | Gasolina | Diesel | Gas | Eléctrico. | | |
| Plata | | | | | | | [8] | X | | | |
| Plomo | | | | | | | X | X | | | |
| Vanadio | | | | | | | X | X | | | |
| Sodio | | | | | | | X | X | | | |
| Níquel | | | | | | | X | X | | | |
| Bóro | | | | | | | X | X | | | |

NOTAS: [1] Opcional, raras veces se hace

[2] Para temperaturas de operación por encima de los 80 ° C.

[3] Si el contenido de agua ocasional o permanentemente es alto (0.50 Vol.)

[4] Se analiza cuando el contenido de agua es alto (0.5% Vol.) y hay presencia de bronce, babbitt o cobre (metales blandos) en el equipo lubricado.

[5] Se analiza cuando el contenido de agua es alto (0.5% Vol.) y hay presencia de materiales Ferrosos en el equipo lubricado. Siempre que se analiza [3], se debe analizar [4] ó [4]-

[6] Si el aceite es del tipo EP

[7] Si hay cobre, bronce o babbitt en el mecanismo lubricado.

[8] Si los cojinetes de apoyo del cigüeñal son de plata.

La tabla II muestra los valores máximos y mínimos permisibles para las diferentes pruebas de laboratorio efectuadas bajo las normas ASTM. Con los datos obtenidos en base a características físicas o químicas bajo el método ASTM se hace una evaluación de las características sea ésta alta o baja, se determina un valor máximo permisible los cuales pueden ser Industrial o automotor, se determina la causa posible y nos da algunas observaciones.

Por ejemplo el Índice de viscosidad con método ASTM D-567 con una característica alta, nos dice la tabla una posible contaminación con otro aceite y oxidación.

| Característica física o química | Método ASTM | Evaluación de caract. | Valor máximo o mínimo permisible. | | Causa posible | Observaciones |
|---|--------------|-----------------------|--|------------------------------|---|---|
| | | | Industrial | Automotor | | |
| Gravedad Específica gr/cm ³ | D-287 | Alta | | | Oxidado. Contaminado con otro aceite de mayor viscosidad | No es un parámetro fundamental para definir si un aceite está en buen estado o no pero sirve para comprobar otras características, como la viscosidad, el contenido de insolubles en pentano y el número de neutralización. |
| | | Baja | | | Diluido Contaminado con Agua. | |
| Gravedad °API | | Alta | | | Contaminado con otro aceite de menor viscosidad. Contaminado con agua. | |
| | | Baja | | | Oxidado contaminado con otro aceite de mayor viscosidad. | |
| Viscosidad SSU/100° ó 210° F cSt/40° ó 100 C° | D-88 D-45 | Alta | 5% en Turbinas de vapor, gas, hidráulicas, 10% en sistemas hidráulicos y circulatorios; 25% en reductores, compresores de refrigeración, y transferencia de calor. | 40% de aumento de SSU/100° F | Oxidado Contaminado con materiales sólidos Contaminado con otros mas viscosos | En uno de los parámetros más importantes para determinar el estado del aceite. |

| Característica física o química | Método ASTM | Evaluación de la caract. | Valor máximo o mínimo permisible. | | Causa posible | Observaciones |
|-------------------------------------|----------------|--------------------------|--|---|--|---|
| | | | Industrial | Automotor | | |
| Índice de viscosidad (adimensional) | D-567 | Igual | | | En buen estado, oxidado o diluido en la misma proporción. | En aceites para transmisiones automáticas tipo ATF, es importante analizar esta propiedad porque permite evaluar la estabilidad de los aditivos mejoradores del IV. |
| | | Baja | 15% de disminución. | 15% de disminución en SSU/100° F | Diluido con gasolina o con Gasoil. Contaminado con otro aceite de menor Viscosidad | |
| | | Alto | | | Oxidación. Contaminación con otro aceite. | |
| Punto de inflamacion °C | D-92 | Bajo | | | Dilución Aditivos IV (Cizallados) | En equipos industriales, como compresores centrífugos que compriman gases ricos en H2S, propano e isobutano es imprtante efectuarles esta prueba. |
| | | Alto | 180°C min. En sistemas de transferencia de calor, | 180°C min. Para motores Diesel y Gasolina | Contaminado con otro de mayor Viscosidad | |
| Residuo de carbón Conradson. % peso | D-189 D-524 | Bajo | 150°C min. En los demás tipos de aceites. | | Dilución por combustible. Contaminado con un gas, como el H2s, propano, isobutano. | Para altas temperaturas se debe evitar el uso de aceites derivados del petróleo. |
| | | Alto | Hasta 0.5% peso en los aceites para cilindros de compresores. Para otros tipos de aceites entre 0.1 y 0.9% peso. | | | |

| Característica física o química | Método ASTM | Evaluación de la caract. | Valor máximo o mínimo permisible. | | Causa posible | Observaciones |
|---|-----------------|--------------------------|--|--|---|--|
| | | | Industrial | Automotor | | |
| Número de neutralización (TAN) mgrKOH/gr Usado | D-664 D-974 | Alto | Incremento de 0.7 en Aceites con EP. Incremento de 0.3 en aceites si EP para reductores. Incremento de 0.3 en Aceites para turbinas de vapor, gas, hidráulicas, transformadores y compresores. Incremento de 0.5 en Sistemas hidráulicos. | | Oxidado. | Es uno de los factores más importantes porque indica el grado de oxidación del aceite usado. Sin embargo, no es definitivo en el cambio del aceite porque pueden haber ácidos presentes no corrosivos. |
| (TBN) mgrKOH/gr aceite usado | D-665 D-2896 | Bajo | | Diesel con combustible más de 0.5% azufre, la mitad del valor original. [4] Gasolina, por el ASTM D-664 hasta 1 por el D-2896 hasta 2. | Disminución de la reserva alcalina del aceite. | Es importante para evaluar la capacidad de detergentes-dipersantes de los aceites automotores. |
| Insolubles en Pentano % peso | D-893 | Alto | 0.005% en turbinas industriales. 0.004% en turbinas a gas. 0.5% en reductores. 0.1% en compresores de aire y refrigeración. 1% en transferencia de calor | 1.5% en gasolina y Diesel. 0.5% en gas. | Productos resultantes de la degradación del aceite. Metales procedentes del desgaste y de los aditivos. Del carbón formado por una combustión incompleta. | Permite conocer el tipo de contaminantes que hay en el aceite usado: sin son productos de la oxidación o de otras fuentes diferentes corrobora el número de neutralización. |
| Insolubles en Benceno o en tolueno % peso . Productos | | | | 0.7% en gasolina y Diesel. 1% en gasolina y Diesel. | Carbon formado por una combustión incompleta. | |

| Característica física o química | Método ASTM | Evaluación de la caract. | Valor máximo o mínimo permisible. | | Causa posible | Observaciones |
|--|-------------|--------------------------|---|--------------------------------|--|---|
| | | | Industrial | Automotor | | |
| oxidación o resinas. Tensión interfacial Dinas*cm. | D-971 | Baja | 18 min. Para aceites de turbinas de vapor. 20 min. para aceites dieléctricos. | | Contaminación con agua y oxidación. | Permite saber hasta que punto se puede centrifugar el aceite para |
| Factor de potencia Hz/°C | D-924 | Alta | 0.3% máx. para aceites de transformadores. | 5% en Diesel y 2% en gasolina. | Marcha en vacío a baja temperatura | Permite analizar anomalías en el motor, como desgaste en anillos y camisas. La presencia de |
| Dilución por combustible % Vol. | D-322 | Alto | | | Anillos y/o cilindros gastados mala carburación o filtro de aire sucio. Ventilación deficiente del cárter. | bustible corrobora la presencia y disminución de la viscosidad y del punto de inflamación. punto de inflamación. |

NOTA:

- [1] El contenido de calcio en los aceites para turbinas de vapor y de gas es de 20 ppm máximo.
- [2] El % de inhibidor de oxidación con respecto al aceite para turbinas de vapor, gas, sistemas hidráulicos y circulatorios deben ser del 50%.
- [3] El % de aditivos EP y/o antidesgaste con respecto al aceite nuevo en los aceites para reductores de velocidad deben ser como mínimo del 50%
- [4] Caterpillar recomienda que por el Método ASTM D-2896, el aceite para motores Diesel se debe cambiar cuando el TBN sea igual a 10 veces

2.1.2.3 Presentación de resultado

Presentación de resultados

- Vida del aceite
- Corrosión
- Detección de partículas metálicas
- Detección de partículas no ferrosas (Contaminantes)
- Detección de agua o diesel crudo
- Presencia de viscosidad alta por carga de hollín
- Presencia de viscosidad baja por diesel fusionado

Otros métodos de análisis de aceite

Existen otros métodos de análisis de aceite, que para fines de este trabajo no se describen con detalle, sin embargo a continuación se da una breve descripción de algunos de ellos y sus generalidades técnicas

1. Espectro metalografía

Descripción: cualquiera de las muchas técnicas para detectar y cuantificar trazas de elementos metálicos, en las cuales la muestra se energiza para hacer que el/los elementos emitan o absorban una cantidad cuantificable de energía luminosa.

Generalidades técnicas: la espectro metalografía se realiza para medir partículas metálicas de menores de 10 micrones y por lo tanto, está limitada y con ella se pueden detectar fallas catastróficas.

2. Viscosidad

Descripción: una resistencia del fluido al flujo con respecto a la temperatura. El índice de viscosidad es una medida de la resistencia del lubricante a la dilución a medida que la temperatura aumenta.

Generalidades técnicas: el corte de los lubricantes se produce cuando sus moléculas se dividen partes aún más pequeñas. Esto puede producirse por dos procesos básicos: calor y presión del sistema (esto puede afectar aún la base, aunque se aplica más aptamente a cualquier mejorador del índice de viscosidad que pueda haber estado presente), el corte mecánico, como por ejemplo un aro raspa aceite contra una pared de cilindro, atrapando las moléculas del lubricante y separándolas.

3. Número ácido total (TAN)

Descripción: un número de resistencia ideado para medir todos los materiales acídicos o con efecto ácido en el lubricante, incluyendo ácidos fuertes y débiles.

Generalidades técnicas: muchos aditivos de lubricantes estándares tienen un TAN aún nuevos, por lo tanto, es importante establecer valores bases. Los compuestos de fósforo/zinc pueden contribuir hasta un 2.0 TAN dependiente de las concentraciones.

4. Número básico total (TBN)

Descripción: un número de neutralización ideado para medir todos los materiales básicos (alcalinos) en el lubricante, Ejemplo: componentes neutralizados de ácido en el paquete de aditivos del lubricante.

Generalidades técnicas: parece incongruente expresar el TBN en términos de KOH, ya que el CIH es el elemento dosificador, pero esta convención hace al TBN y TAN compatibles en términos de magnitud relativa (los números de neutralización utilizan el peso atómico de la fórmula del elemento dosificador en el cálculo. El peso de la fórmula de KOH es mayor a 1.5 veces el del CIH)

5. Ensuciamiento (hollín)

Descripción: sólidos de combustión provenientes de motores alternativos. No obstante, la aplicación primaria en los motores Diesel.

Generalidades técnicas: este ensayo se desarrolló primariamente pensando en los motores Diesel, ya que la naturaleza de su combustión produce hollín.

6. Análisis infrarrojo

Descripción: es una forma de espectroscopia de absorción (“IR”) restringida a la región de longitud de ondas espectrales infrarrojas, la cual primeramente identifica y cuantifica los grupos funcionales orgánicos.

Generalidades técnicas: el análisis infrarrojo tiene que ver primariamente con la química de una base de lubricante y los paquetes de aditivos (si es que los hay estándar técnico actual para el IR.

7. Recuento de partículas

Descripción: cualquiera de las muchas técnicas que categorizar partículas en un fluido con respecto a un número y rango de tamaño.

Generalidades técnicas: el recuento de partículas es un concepto técnicamente simple, pero aún así, abarca un área que el análisis de metales espectrométrico básico no puede alcanzar: partículas 10 micrones.

8. Ferrografía de lectura directa

Descripción: traducida literalmente como lectura de hierro, es una técnica que utiliza magnetos permanentes de precisión para quitar sistemáticamente partículas que contienen hierro u otras partículas susceptibles de un lubricante, con el fin de estudiarlas.

Generalidades técnicas: la ferrografía de lectura directa no brinda información acerca de la morfología de las partículas (forma), y dimensiona a las partículas en dos amplias categorías.

9. Ferrografía analítica

Descripción: traducida literalmente como lectura de hierro técnica que utiliza magnetos permanentes de precisión para eliminar sistemáticamente partículas que contienen hierro u otras partículas susceptibles de un lubricante, para ser estudiadas.

Generalidades técnicas: la ferrografía analítica se utiliza para detectar partículas mayores que las que se pueden detectar mediante espectrómetros de absorción o emisión atómicas de rápido proceso.

2.1.3 Análisis termográfico

2.1.3.1 Instrumento de medición

Una cámara de termografía infrarroja es un artefacto que sin tener contacto físico, detecta la energía infrarroja (calor) del cuerpo y convierte esto en una señal electrónica, la cual es procesada para producir una imagen de televisión o de video y realiza el cálculo de la temperatura. Captar el calor por la cámara infrarroja puede ser cuantificado o medido en una forma precisa, permitiéndonos no sólo realizar el monitoreo térmico, sino también identificar y evaluar la severidad relativa de los problemas relacionados al calor. Innovaciones recientes, particularmente en tecnología detectora, la incorporación de imagen visual, funcionalmente automatizada y desarrollo del *software*, proporciona soluciones a través del análisis térmico, que dan una amplia efectividad en control de costos, como nunca antes.

Si usamos la tecnología moderna basada en cámaras infrarrojas podemos detectar los menores problemas y ayudar a la empresa a reducir el gasto energético y evitarle costosos paros no programados. Es de fácil uso de apunte, junto con el sistema a utilizarse hay que tomar en cuenta el uso de un *software* que dicho servicio cuenta con el respaldo adecuado para darnos una hipótesis rápida y veraz de nuestro problema.

Termografía es el uso de una cámara infrarroja para captar y medir la energía térmica emitida por un objeto.

2.1.3.2 Toma de datos

La energía infrarroja o térmica, es un rango de luz que no es visible, porque la longitud de la onda que la forma es demasiado extensa para ser detectada por el ojo humano. Esa es la parte del espectro electromagnético que nosotros percibimos como calor. A diferencia de la luz visible, en el mundo infrarrojo, todo aquello con temperatura por encima del cero absoluto emite calor. Aún muchos objetos fríos, como los cubos de hielo, emiten rayos infrarrojos. Mientras más alta sea la temperatura de un objeto, mayor será la radiación IR (infrarroja) emitida. El infrarrojo nos permite ver lo que nuestros ojos no pueden.

Las cámaras infrarrojas producen imágenes de las ondas infrarrojas invisibles o radiaciones de calor, y tienen la capacidad de medir la temperatura sin requerir ningún contacto. Debido a que casi todos los equipos tienden a calentarse en exceso antes de fallar, las cámaras IR son una valiosa herramienta para el diagnóstico en innumerables aplicaciones, a un costo extremadamente efectivo. Y como toda empresa se esfuerza en mejorar la eficiencia en la manufactura, consumo de energía, mejorar la calidad del producto, garantizar la seguridad del trabajador, nuevas aplicaciones continuamente emergen.

2.1.3.3 Presentación de resultados

Una imagen dice más que mil palabras; el análisis termográfico es sólo un diagnóstico tecnológico que deja visualizar instantáneamente y verificar el desarrollo térmico. Las cámaras infrarrojas muestran sus problemas térmicos, cuantificándolos y realizando mediciones de temperatura sin necesidad de contacto, documentándose automáticamente en segundos y creando fácilmente un reporte profesional.

Casi todos los objetos que usan o transmiten energía se calientan antes de fallar. La administración efectiva de la energía es vital para poder mantener la confiabilidad de los sistemas eléctricos y mecánicos, hoy en día nadie puede negar que la tecnología infrarroja es la más efectiva para proveer mantenimiento predictivo (PMPd), tecnología disponible para que, de una manera rápida, precisa y segura se localicen los problemas o fallas que tengan prioridad. En junio del 2001, la revista de Tecnología de Mantenimiento, reportó el retorno de \$4 sobre la inversión por cada \$1 gastado en inspección termográfica. Encontrar y arreglar un problema de conexión eléctrica antes de la falla, puede ahorrarle grandes costos, asociados con un paro de producción o manufactura, pérdida de la producción, pérdida de poder, incendios y fallas catastróficas.

La presentación del resultado no resuelve el problema, no es suficiente, En realidad una imagen termográfica sin una medición precisa o exacta dice muy poco acerca de la condición de una conexión eléctrica o el desgaste en alguna parte mecánica.

Una inspección IR sin una sencilla y rápida manera de reportar y analizar los resultados de la inspección no provee la capacidad de tomar la decisión de hacer la reparación a tiempo, o localizar y distinguir esos puntos calientes que pueden causar problemas, de aquellos que están asociados a la normal operación del equipo. Las cámaras infrarrojas y el *software* localizan problemas rápidamente y proporcionan mediciones precisas de la temperatura sin contacto y la capacidad de análisis instantáneo, dando respuestas necesarias para tomar la decisión de cómo y cuando reparar el daño.

2.2 Selección de mediciones

Ya hemos mencionado vibración y temperatura como dos indicadores instintivamente entendibles de condición. La condición del aceite es regularmente de igual utilidad. Presión, temperatura y flujo son necesarios para calcular funcionamiento y, en algunos casos, pueden muy bien indicar condición mecánica.

El secreto para mantenimiento predictivo efectivo es escoger mediciones que completa y efectivamente definan condición. Este es el punto en el que una cuidadosa selección será de gran beneficio.

Miremos algunos ejemplos: vibración es un indicador obvio de condición para equipo con partes que rotan. Entre más grande la vibración, más probabilidad de fallo. La misma idea general es cierta para temperatura. Un aumento gradual o repentino sobre el valor normal siempre indica un problema.

Otros cambios de condición no siempre son tan claros. Aumento de tolerancia en una bomba puede no causar un cambio significativo u observable de vibración. Disminución de flujo puede ser una indicación, pero el flujo puede no ser medible. Usualmente otra variable, más fácil de medir, como presión proveerá información requerida. Una reducción continua en salida de presión puede ser el mejor indicador de aumento interno de tolerancia. Aumento de amperaje de motor es otro síntoma de deficiencia causado por aumento interno de tolerancia.

Si una bomba está descargando contra una válvula de control, la posición de la válvula puede ser un indicador de desempeño de la bomba. Al declinar el desempeño, la válvula tiene que abrirse progresivamente para satisfacer las demandas.

En algunos casos, mediciones enfocadas a características específicas pueden ser los mejores indicadores de condición. Como un ejemplo, los motores de aviones comerciales son continuamente monitoreados con sistemas que únicamente registran vibración a la velocidad de rotación. Rodamientos de bolas y de rodillos son otro ejemplo. Detección temprana de defectos requiere examinar algún parámetro específico. Para el tiempo que ocurra un cambio de condición que provoque un cambio medible en vibración general, el rodamiento probablemente estará muy próximo a dañarse.

Existen numerosos ejemplos adicionales de mediciones de condición como diferencia de presión en tambor de balance, presión y temperatura.

Para el caso de embotelladora central S.A. se ha determinado llevar a cabo los mantenimientos predictivos basándose en la altamente exitosa tecnología de termografía infrarroja con radiómetro inteligente de la nueva generación, actualmente, todo gira en torno a cómo alcanzar el mejor nivel de productividad, ahorrando costos, mejorando la eficiencia, maximizando el rendimiento y ampliando la productividad del personal..

Conscientes de las dificultades para obtener máxima productividad y sabiendo que el tiempo es un factor crítico, con este método de termografía Infrarroja se garantiza el trabajo de campo y la elaboración de un informe personalizado dirigido a la gerencia de mantenimiento sobre el resultado final de las tomas efectuadas con la mayor rapidez y veracidad que requerimos, con este método ponemos a nuestra disposición un informe sencillo con imágenes claras de las zonas potencialmente problemáticas, con análisis detallados que nos ayudarán a obtener sustanciales ahorros y evitará costosos paros de maquinaria antes que éstas fallen. Regularmente este servicio es subcontratado a alguna empresa dedicada al ramo, y ellos prestan el servicio completo de toma de muestras, imágenes, datos, etc.

2.3 Identificación de equipo

Se debe detener identificado el equipo que desea monitorear y las mejores mediciones para definir la condición. Se necesita establecer prioridades que guiarán a intervalos de medición.

Se recomienda clasificar el equipo en cuatro categorías:

1. Equipo vital sin respaldo donde un daño o cese, paraliza o restringe severamente la producción.
2. Equipo vital con respaldo donde un daño o cese de ambas unidades, paraliza o restringe severamente la producción.
3. Equipo no vital con respaldo cuya pérdida no afecta la producción.
4. Equipo no vital operado intermitentemente.

Al leer lo anterior, podemos dividir el equipo en diferentes categorías:

Unidades de compresión sin repuesto en línea única de producción, turbo-generadores en plantas de potencia, máquinas papeleras y unidades de propulsión marinas son algunos de la categoría 1.

Ventiladores de combustión, bombas de alimentación y carga, turbo-generadores marinos, unidades de bombeo y compresores en líneas de tuberías y muchas bombas de proceso e intercambiadores de calor son equipos típicos debidamente clasificados en la categoría 2.

Torre de enfriamiento y ventiladores para enfriadores de aire, muchas bombas de circulación de agua, bombas de agua potable y algunas bombas de proceso e intercambiadores de calor son ejemplos de equipo que pudiera clasificarse en la categoría 3. Debe ejercer algo de precaución; la operación específica o la época del año pudiera muy bien influir la selección de una categoría. Por ejemplo, un abanico de torre de enfriamiento que no es necesario durante el invierno, puede ser absolutamente vital durante la época de calor.

La categoría 4 incorpora todo el equipo restante que debe ser monitoreado pero que realmente no es vital o lo suficientemente caro, que justifique mucho tiempo o gasto.

Al clasificar equipo, existen otros 4 factores que deben ser considerados:

1. Seguridad del personal: si el equipo maneja material peligroso, líquido venenoso o altamente inflamable, por ejemplo, su condición debe ser monitoreada muy de cerca. Igualmente, si un fallo presenta un peligro para el personal, la pérdida de un aspa de abanico de enfriamiento como un ejemplo, debe monitorearse muy cuidadosamente.
2. Probabilidad de fallo: equipo operando a límites diseñados y/o manejando material agresivo, naturalmente debe monitorearse más de cerca que equipo liviano de servicio rutinario. En algunos casos puede verse obligado a operar equipo con deficiencias conocidas y susceptible a fallo. Estos deben monitorearse de cerca.
3. Nivel humano: está el equipo donde continuamente se encuentran personas o está en una localización remota donde la operación no requiere personal.

4. Costo y efecto de un daño o parada inesperada: sí el costo y el efecto es alto, mantenimiento predictivo y monitoreo de condición son probablemente fáciles de justificar.

Todo esto nos dirige a un método sistemático para establecer el tipo más efectivo e intervalos de mediciones de monitoreo de condición para asegurar mantenimiento predictivo seguro y eficaz.

Equipo en la categoría 1, y algún equipo en las categorías 2 y 3 probablemente requerirán monitoreo continuo para asegurar su protección. No importa cuán completo, un sistema de monitoreo continuo probablemente será complementado con algunas mediciones periódicas para asegurar protección total. Recolección periódica de firmas de vibración en un sistema de monitoreo continuo es uno de estos ejemplos. Registro de presiones y temperaturas para una evaluación periódica de eficiencia térmica es otro ejemplo.

Establecer criterios de medición para su elaboración va mucho más allá del alcance de esta tesis sobre mantenimiento predictivo. Esto requiere de alguien con conocimiento detallado del equipo específico con relación a los factores que se han mencionado.

2.4 Establecer intervalos de medición

Mucho del mismo proceso de pensamiento y criterio discutido en la sección anterior es usado para seleccionar los intervalos de medición. Además de la probabilidad de un daño, cuan rápido se manifiesta es una consideración importante al seleccionar los intervalos de medición.

Para citar otro ejemplo, un fallo de balinera de empuje usualmente ocurre muy rápidamente y causa gran daño. Donde este tipo de daño sea probable, ciertamente se justifica protección continua. Aumentando este ejemplo, parámetros pueden ser medidos para que provean una advertencia exacta y mucho más temprana de cambios que finalmente causarían daño. En nuestro ejemplo, estos parámetros señalan deficiencias y generalmente ocurre con suficiente lentitud como para que puedan ser monitoreados periódicamente. Otra medida como temperatura del metal de la balinera de empuje puede ser ventajosamente monitoreada con regularidad.

Lo que se desea lograr es una serie de medidas, algunas registradas continuamente, algunas registradas periódicamente, que aseguren una advertencia una temprana de un cambio de condición, al igual que proteger el equipo y el personal que puedan estar en el área en caso de un daño serio. Firmas de vibración registradas en un sistema de monitoreo continuo son generalmente tomadas mensualmente en maquinaria que ha experimentado problemas en el pasado o cuando el historial registra que los problemas se han desarrollado súbitamente.

Para casi toda la maquinaria protegida con sistema de monitoreo continuo y una historia buena de operación, firmas de vibración trimestrales son típicas. Intervalos de seis o doce meses son usados algunas veces en maquinaria que ha probado ser altamente confiable.

Mediciones relacionadas con desempeño y condición de componentes específicos como por ejemplo diferencias de presión de tambor de balance, condición de entrada y salida (escape), flujos, etc. Son recogidas generalmente al menos una vez al mes en equipo vital sin respaldo.

Monitoreo de mediciones de condición deben efectuarse con un mínimo de intervalos mensuales en equipo vital con respaldo, sin necesidad de monitoreo continuo. Cuando la maquinaria se trabaja alternadamente, mediciones de condición son usualmente tomadas en meses alternos cuando el equipo está en operación. Mediciones de condición trimestrales o semestrales son recomendadas en equipo no-vital operado en lapsos de tiempo más prologandos.

Antes de dejar este tema, hay un punto más que debemos mencionar. Tan pronto como se noten problemas, el intervalo de obtención de mediciones debe reducirse. En algunos casos, las mediciones deberán tomarse semanalmente o diariamente para prever un daño. Si el problema es preocupante y las mediciones diarias son necesarias, se debe reconocer que el equipo está en condición marginal y probablemente no debiera operarse del todo.

2.6 Monitoreo de condición

El monitoreo debe iniciarse en el orden de prioridades. Las primeras máquinas a incorporarse en un programa de monitoreo de condición deben ser aquellas con problemas conocidos o historia de problemas. Este procedimiento provee los resultados más rápidos, levantando en esta forma entusiasmo y motivación a favor del programa.

Un monitoreo rápido realizado en 1-2 días con un colector Microlog es un buen método, que en este caso es el utilizado en Embotelladora Central, S.A. El medidor de vibración utilizado en la maquinaria para tomar mediciones representativas de toda la maquinaria que se espera incorporar en el programa. Las máquinas son listadas en dos o tres categorías por niveles de vibración en general. Aquellas con las vibraciones más altas se les da la prioridad máxima. De este principio, el programa es expandido al ir agregando máquinas en categorías progresivas menores. Para determinar una prioridad razonable para el monitoreo de máquinas en una categoría determinada, su papel en la producción y el costo y efecto de un problema deben ser tomados en consideración..

2.7 Desviaciones de condición normal

No es necesario decir que para poder reconocer una desviación de lo normal, primeramente se debe conocer lo que es normal. En algunos casos esto será muy simple.

Presiones y temperaturas de procesos tienen valores normales designados. Límites son establecidos fácilmente para proveer amplia advertencia de desviaciones de lo normal.

Para otras mediciones vitales de condición (vibración por ejemplo), las normas son más difíciles de determinar. Estas dependen de la clase de máquina, su construcción y el punto en el cual la medición es efectuada.

Velocidad es considerada por la mayoría como la medida externa más representativa de la condición mecánica de una máquina. Aún cuando mucha de la literatura la guiaría a pensar que el criterio de velocidad constante pudiera ser aplicado a la mayoría de las máquinas, definitivamente no es así. Solo entre bombas puede existir una diferencia entre niveles de velocidad tolerable. Un nivel de velocidad de operación normal para una bomba, puede muy bien ser intolerable para otra.

En estos casos tendrán que establecer su propio criterio y valores límite basados en su experiencia con el equipo específico. Sujeto a las restricciones que hemos mencionado anteriormente, se puede utilizar la información como guía general al evaluar estado de maquinaria basándose en velocidad de vibración en general.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS TERMOGRÁFICO PARA COMPRESORES DE AIRE TIPO TORNILLO EN UNA EMBOTELLADORA

Se presenta un modelo de cómo implementar un programa de mantenimiento predictivo en un ambiente industrial, para este caso una empresa embotelladora de bebidas gaseosas, el método que se emplea es el método por análisis termográfico, se aplica al sistema de aire comprimido, básicamente a los compresores de aire.

Como primer punto se define el funcionamiento y operación de los equipos de aire comprimido dentro del proceso de embotellamiento de bebidas, se debe crear un banco de datos que contengan los datos generales de la maquinaria que se va a estudiar. Es de vital importancia un historial de la maquinaria, con el objeto de evaluar el comportamiento de los mecanismos y tener un diagnóstico cercano y específico del estado de dicho equipo.

Este capítulo se basa en la implementación del programa de mantenimiento predictivo, se trabaja un ciclo de 2000 horas, en las que se evaluarán los resultados desde las 0 horas que es el inicio del programa, a las 500 horas, a las 1000 horas y a las 2000 horas que es el final del programa.

Con los datos obtenidos en un programa de mantenimiento se pueden realizar los análisis e influencias de curvas de desgaste y a consecuencia la toma de decisiones. El inicio del ciclo del programa se inicia al obtener datos generales de la maquinaria y hacer un historial de ella.

En el desarrollo del capítulo se discuten los resultados en cada fase de evaluación desde las 500 horas, 1000 horas y 2000 horas, basándose en los resultados que proporcionan las fotografías y las gráficas obtenidas. Luego de hacer las inspecciones y observaciones respectivas se procede entonces a obtener las tendencias y análisis gráficos de los mismos, al obtener un estimado de la severidad de cambios de condición de la maquinaria monitoreada. Este análisis predictivo basado en el método termográfico, permite obtener una proyección del estado del compresor, lo cual permite decidir en ese momento que hacer desde el punto de vista económico y en la vida útil del equipo.

En los siguientes puntos se detalla el funcionamiento de operación del equipo, la creación de un banco de datos y el historial de la maquinaria. Seguidamente se tiene el inicio del ciclo de operación de la maquinaria, básicamente refiriéndose al tiempo real de operación efectiva, desde el momento del montaje y arranque hasta la primera reparación mayor o reemplazo. El mantenimiento predictivo por análisis termográfico busca la manera de establecer resultados óptimos del equipo y se debe obtener información sobre las temperaturas de los compresores de tornillo, en los ciclos antes mencionados.

Para poder formar un análisis termográfico obteniendo resultados convincentes es necesario tomar datos reales con los que se puede tener un criterio acertado del comportamiento del equipo, se toman 4 puntos críticos del compresor, los que serán observados según los rangos estipulados en el desarrollo del monitoreo. Los puntos críticos son los siguientes:

1. Depósito de aceite
2. Compresor
3. Contactor
4. Motor principal de 75 hp

3.1 Funcionamiento y operación del equipo de aire comprimido

En una embotelladora de bebidas gaseosas existe una alta demanda de aire comprimido, exige una producción de aire comprimido durante las 24 horas al día. Dicho equipo opera en condiciones normales, el suministro de aire es continuo y exige una presión constante, debe estar situado en un lugar de la planta donde se le proporciona aire del ambiente a temperatura ambiente libre de los contaminantes comunes como el polvo, calor, etc. que afectan el buen funcionamiento de los compresores. Existe un trabajo sumamente pesado que implica desgaste de los diferentes componentes de los diferentes equipos, éstos están siempre sometidos a exigencias propias de la producción; por tal motivo necesitan una atención especial durante todo el año.

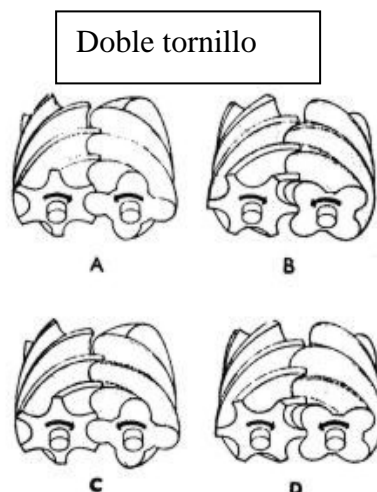
Los compresores de aire tipo tornillo, pueden operar de manera programada espaciando el funcionamiento de cada uno de ellos, 2 a la vez, según normas internas de producción y mantenimiento, lo que permite que dichos compresores se les pueda proveer de un mantenimiento preventivo inevitable y cuando estén en operación se realiza el mantenimiento predictivo para interés de este proyecto de tesis.

Los compresores de tornillo son equipos de alta producción de aire comprimido. Lo que esencialmente constituye el compresor de tornillo, es un par de rotores que tienen lóbulos helicoidales de engranaje constante. Los rotores van montados en un cárter de hierro fundido provisto de una admisión para aire en un extremo y una salida en el otro.

El tornillo macho tiene normalmente cuatro lóbulos y el tornillo hembra tiene seis. El tornillo macho ha girado $1/4$, el tornillo hembra $1/6$ de revoluciones, en cada una de las figuras del diagrama (Fig. 1.) . Según giran los rotores, los espacios que hay entre los lóbulos van siendo ofrecidos al orificio de admisión y el incremento de volumen experimentado provoca un descenso de presión, con lo que dichos espacios empiezan a llenarse de aire (A). Al mismo tiempo se inyecta aceite sometido a presión neumática en el aire entrante; no hay bomba de aceite

Cuando los espacios ínter lobulares están completamente cargados de aire, la rotación que prosigue, cierra el orificio de admisión y comienza la compresión (B) El volumen de aire que hay entre los rotores en engrane continuo sufre aún mayor reducción (E) Cuando se alcanza la presión final a que se somete el aire, el espacio ínter lobular queda conectado con el orificio de salida (D). La mezcla descargada de aire/aceite pasa por un separador que elimina las partículas de aceite. Entonces fluye el aire limpio por la tubería neumática.

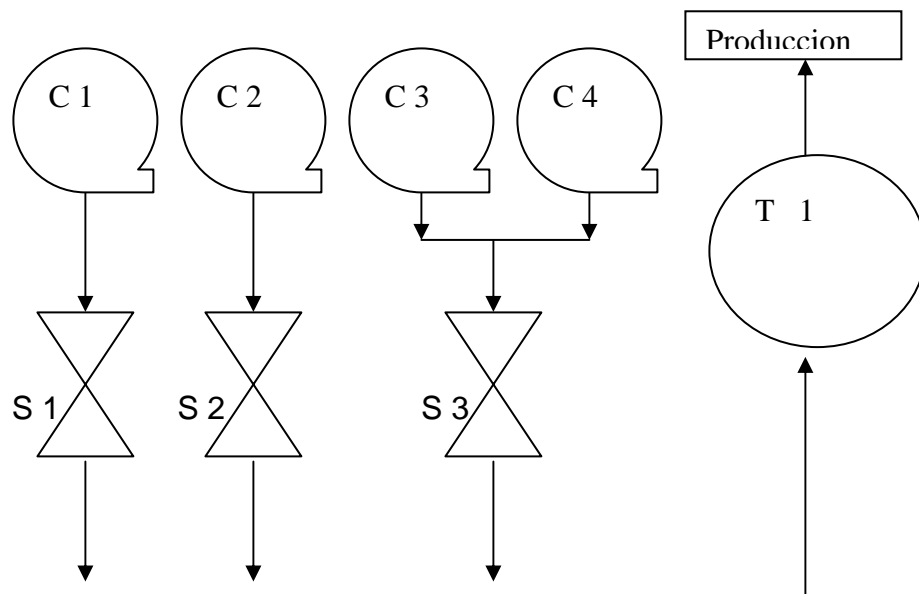
Figura 1. Compresor de tornillo sin fin



Como estos compresores pueden girar a mayor velocidad que los demás resultan apropiados especialmente en instalaciones que necesitan gran capacidad de aire comprimido. Una embotelladora basándose en la producción, puede tener dentro de su inventario de maquinaria 4 compresores de aire tipo tornillo, 2 secadores de aire, lo que hace un sistema efectivo en la operación y producción del producto.

En la siguiente figura (2) se muestra un diagrama de la ubicación de los compresores de aire y los secadores, además se muestra un tanque de compensación para mantener la presión en el sistema, dicha información se toma de una embotelladora.

Figura 2. Ubicación de compresores y secadores



3.1.1 Creación de un banco de datos

El banco de datos tienen por objetivo reunir toda información posible acerca de determinado equipo con el fin de ser utilizado como una **cartilla médica** la cual permitirá tener a la mano todas las fallas y reparaciones que se hayan efectuado en la maquinaria.

Es muy común crear un banco de datos en una hoja de control y hacer las anotaciones en donde se deja por escrito todo el trabajo efectuado con indicaciones, fechas de ejecución, horometro, repuestos, costos, tiempo utilizado, persona responsable del trabajo, estado de la máquina antes y después del mantenimiento. Cuando una máquina es nueva es aconsejable monitorear ésta información desde el inicio de la operación.

3.1.2 Historial de la maquinaria

El historial de la maquinaria se volverá en términos médicos como **la ficha clínica** de cada paciente, en la cual permitirá conocer las diferentes transformaciones, fallas y reparaciones efectuadas en cada equipo; con esta misma información por medio del monitoreo permanente de aceite usado en cada componente se podrá ir creando parámetros propios y curvas de desgaste que permitirán utilizar esta información.

3.1.3 Influencia de los parámetros y curvas de desgaste en la toma de decisiones

Para poder tomar una decisión acertada se necesita de un buen criterio, así como de bastante conocimiento de los componentes de cada equipo. Por ejemplo, si determinado elemento muestra una tendencia marcada de desgaste ascendente durante un determinado número de fotografías tomadas con el equipo que consta de una cámara y un *software*, es un indicio directo que algo está sucediendo en el componente y es necesario tomar una acción. No por tener un dato alto que quede arriba del parámetro máximo se tiene que realizar una inspección; al contrario, se debe tomar una nueva muestra para establecer la tendencia, la cual dirá sí la falla continua o no.

Al crear un parámetro se delimitan los márgenes de trabajo. Esto es lo que se busca al crear parámetros de desgaste. En las tablas anteriormente mencionadas; las tablas 1.1 titulada **Pruebas de laboratorio a aceites usados, de acuerdo con el tipo de servicio**, la tabla 1.2 titulada **Valores máximos o mínimos permisibles para diferentes pruebas de laboratorios**.

Con los datos obtenidos basados en fotografías se debe tener un amplio criterio, además de un conocimiento apropiado del equipo se puede llegar a la toma de decisiones, un ejemplo sencillo es establecer cuando un aceite del tanque de limpieza de aire del compresor de tornillo marca: Sullair, está protegiendo debidamente el sistema, lubricando de manera adecuada y eficiente el mecanismo de tornillos sin fin del compresor.

El aceite utilizado es de alta calidad y costo y debe mantener una viscosidad apropiada en el sistema, debe crear valores aceptables en las propiedades del lubricante tales como, protección al desgaste, combatir la oxidación y la corrosión, óptima limpieza interior del compresor, protección contra la oxidación y herrumbre, alta estabilidad térmica, reducir la formación de sedimentos e incrustación de los mismos en el sistema. Esto quiere decir que en 250 horas de uso, que es el tiempo en horas que se utiliza el aceite de motor en la mayoría de las operaciones, el aceite debe permanecer entre el rango y además no perder los aditivos que mantienen protegido al sistema de compresión de aire, del desgaste, suciedad y otros elementos de la fricción ocasionada por ellos mismos. El calentamiento ocasionado es detectado por las fotografías, las cuales presentan un resultado del funcionamiento de la máquina, de dicho resultado se puede evaluar y considerar el cambio de aceite u otros elementos como cojinetes, cojinetes de bancada, sellos de cojinetes, retenedores de aceite. Etc.

El muestreo y análisis periódico de temperatura permite saber con exactitud como se está comportando el lubricante y partes del compresor durante su funcionamiento. Si un aceite de motor se degrada antes de las 250 horas ocasionando elevadas temperaturas, su viscosidad bajará demasiado provocando que el desgaste de hierro, cromo, níquel y otros metales sean altos lo cual redundará en acortar la vida útil del sistema de compresión de aire. Solo monitoreando estos datos se puede saber como reacciona el aceite dentro del compresor y tomar la decisión de seguir utilizando el mismo aceite o cambiar por otro que permita una mejor protección.

Así mismo se evalúan las partes mecánicas rotativas del compresor, podemos citar los cojinetes de bancada, o cojinetes simples. Un compresor de aire tipo tornillo, tiene varios puntos críticos a evaluar por ejemplo el tanque de aceite, el mismo compresor de aire donde van los dos ejes helicoidales, el motor eléctrico principal, el motor del ventilador, el grupo de contactores, el tablero del compresor.

Cada parte antes mencionada es de suma importancia al evaluar de manera predictiva, y poder establecer un procedimiento en el mantenimiento predictivo. Depende entonces de los resultados obtenidos en las fotografías; si se observa calentamiento en algunas secciones donde la temperatura es alta, entonces se recomienda revisar si dicha temperatura es normal y no sobrepasa los límites recomendados por el fabricante.

3.1 Inicio del ciclo de operación de la maquinaria

Básicamente se refiere al tiempo real de operación que una máquina realiza desde que inicia la operación como nueva o bien desde que se monto en un nuevo lugar, hasta que llega el tiempo de su reemplazo o reparación mayor. El tiempo puede ser medido en horas de operación. Este mismo concepto se aplica a los componentes individuales de cada máquina o equipo.

3.2.1 Inicio del monitoreo predictivo

Es necesario antes de empezar el monitoreo del análisis termográfico para establecer un mantenimiento predictivo, tener resultados del funcionamiento óptimo del equipo, se debe obtener información sobre las temperaturas normales de trabajo sus máximos y mínimos, para compararlos con los resultados obtenidos del análisis termográfico. Esto nos sirve para saber todas las características reales en óptimas condiciones y establecer un estado de condición.

En un equipo de compresores y secadores de aire en una embotelladora, el equipo está en buenas condiciones de funcionamiento, en su mayoría se debe empezar a construir un banco de fotografías que comienza a las 250 horas de operación para saber e identificar si todos los componentes se comparan con las condiciones óptimas y trabajan correctamente.

De acuerdo a la marca Sullair considerada en este estudio, la operación dentro de un proceso de embotellamiento de bebidas con una alta demanda de aire continua, se debe cambiar el aceite del compresor cada 250 horas de operación; cada 500 se deben cambiar los filtros del sistema y cada 1000 horas se deben cambiar los aceites de los diferentes depósitos, los contactores y cojinetes de los motores eléctricos es recomendable cambiarlos a cada 2000 horas según su condición. Tomando esta base se realizan los diferentes servicios de mantenimiento preventivo en cada maquina.

En otras palabras cada 250 horas, servicio del compresor, 500 horas servicio de compresor y cambio de filtros de los demás componentes de la máquina, 750 horas de nuevo servicio al compresor y 1000 horas servicio general y cambio de todos los aceites y filtros del sistema y componentes de la maquinaria.

El compresor de tornillo es la parte en donde la máquina obtiene los mayores esfuerzos y desgastes, para el servicio pesado que presta el componente que más atención necesita ya que también está sometido a alta contaminación por el hecho de que recibe aire del ambiente que previamente es pasado por filtros de admisión sin embargo esta expuesto a contaminantes mucho más que en cualquier otro elemento del equipo en general. Por la operación a diferentes cargas según los horarios de producción y cambios de operador por los turnos establecidos en una embotelladora, se deben hacer tomas de fotografías en operación cada 500 horas de operación, a través de éstos ciclos de análisis y los resultados del mismo, se puede ampliar o acortar el ciclo del cambio de aceite.

El motor eléctrico principal, el motor eléctrico de los ventiladores y los sistemas de contactores y paneles eléctricos, mandos finales, etc se les debe hacer tomas fotográficas cada 500 horas, debido a que su cambio se debe efectuar cada 2000 horas de trabajo según su condición y su grado de contaminación como sea necesario.

3.3 Resultados de las primeras 500 horas de operación y monitoreo

Después de las primeras 500 horas de operación del compresor de aire, se obtienen los primeros resultados fotográficos de los elementos críticos del compresor (tanque de aceite, compresor, motores eléctricos y paneles de contactores). Para las primeras 500 horas se debe tener un diagnóstico fotográfico de cada elemento, la información IR nos proporciona datos para iniciar la creación de las curvas de desgaste la condición del equipo en funcionamiento y el tiempo de duración de los aceites utilizados.

3.4 Resultados de las primeras 1000 horas de operación y monitoreo

A las primeras 1000 horas de operación ya se tiene un banco de datos más extenso acerca del compresor. Ya se tienen 2 resultados de análisis termográficos del compresor lo que permite crear una tendencia; con los 2 resultados de los análisis de los otros componentes como motores eléctricos y paneles eléctricos de contactores se inicia la construcción de gráficos de tendencias. Podemos adjuntar a nuestro informe un consumo de corriente de los motores eléctricos lo cual nos dará una relación directa del incremento del amperaje en el consumo de energía eléctrica que también nos puede ayudar a identificar fallas.

3.5 Resultados de las primeras 2000 horas de operación y monitoreo

Debido a que los compresores en una embotelladora son varios, cada uno de ellos trabaja tiempos definidos, rotándose unos con otros, esto hace que el tiempo en meses se prolongue. 2000 horas de operación de un compresor significa, a un promedio de 8 horas diarias de trabajo, 250 días que es igual a 8.33 meses; en éste periodo de tiempo regularmente un compresor nuevo o casi nuevo no falla, pero ya deben ser monitoreados con más cuidado y constancia.

A partir de éste momento se debe poner mucha atención a los resultados de los análisis termográficos IR y a cualquier otro resultado obtenido que de alguna manera muestre alarma en el funcionamiento del compresor. Debe recordar que a las 2000 horas de operación se deben tener 4 resultados IR de los análisis termográficos de compresor, tanque de aceite y equipo eléctrico. Esto permite desde ya saber las tendencias máximas y mínimas.

3.6 Observaciones e inspecciones

Para poder formar un análisis termográfico de manera que se pueda observar e inspeccionar los resultados del IR aplicado a compresores de aire, es necesario presentar tomas reales con las cuales se puede tener un criterio acertado del comportamiento de los elementos del compresor, como también de los lubricantes, filtros, cojinetes, y puntos del sistema eléctrico que dicho compresor utiliza.

A continuación se presentan análisis termográficos del compresor en diferentes puntos, puntos críticos que se consideraron importantes para la evaluación de su funcionamiento, el cual es un prototipo del control basado en mantenimiento predictivo que se plantea. En este compresor se realizó la toma desde el momento en que fue trasladado a su nueva posición con las reparaciones mayores necesarias, convirtiéndolo en un dispositivo nuevo propiamente. Se puede observar claramente los cambios de condición al transcurrir las horas de operación.

Capacitación del personal

Las personas encargadas de realizar las inspecciones deberán ser capacitados previamente, además de conocer el equipo y tener una relación directa con los compresores en cuanto al control de los mantenimientos y reparaciones.

Luego de obtener los resultados fotográficos de la cámara infrarroja, se llevará a cabo una inspección y observación la cual es analizada por expertos en el tema, se compara los datos obtenidos con los datos según catálogos del fabricante y recomendaciones del fabricante, para ello es necesario la capacidad del personal y amplio criterio. No puede ser delegada esta parte del mantenimiento predictivo a personal inexperto, de ello depende el éxito del mantenimiento y el buen funcionamiento de los compresores de aire.

Un amplio criterio se basa en la toma de una correcta decisión, debe evaluarse entonces, el aplazamiento del mantenimiento para optimizar recursos o si es necesario parar el equipo con el propósito de hacerle un mantenimiento preventivo o correctivo según proceda.

Este personal debe estar familiarizado con el programa utilizado según la marca y modelo de la cámara infrarroja, es importante que sepa manejar una computadora, es herramienta indispensable para el desarrollo del programa de mantenimiento.

3.7 Ejemplo de fotografías con cámara IR

Las fotografías que a continuación se presentan son un ejemplo de cómo se pueden hacer las tomas en la maquinaria a monitorear, se tomaron 4 puntos específicos e importantes, los que muestran el comportamiento térmico del compresor. El análisis termográfico depende del éxito en la toma de la fotografía, quien hace las tomas debe ser el personal capacitado que se menciono anteriormente, debe hacer el acercamiento recomendado y mantener las posiciones y distancias en los tres diferentes puntos respecto del tiempo en horas de trabajo.

Se tomaron 4 puntos críticos del compresor, los cuales serán observados según los rangos de tiempo estipulados anteriormente, se podrá observar el comportamiento de la máquina en función del tiempo transcurrido en operación. Los puntos críticos aquí evaluados son los siguientes:

1. Depósito de aceite

El depósito de aceite es el tanque de compensación de aceite del compresor, es allí donde circula el aceite luego de ser usado por los helicoidales tipo tornillo, éste aceite es mezclado con aire, se filtra en diferentes puntos del compresor separando el aire del aceite, se obtiene así la presurización del aire.

2. Compresor

El compresor es la parte que comprime el aire por medio del sistema de helicoidales, los que al girar comprimen el aire con el aceite, llevándolo a un tanque o depósito, el cual se encarga de separar el aire del aceite.

3. Contactores

Los contactores son los interruptores de corriente, encargados de operar eléctricamente el sistema, están también sujetos a cambios térmicos, por tal razón se evaluará su comportamiento

4. Motor principal de 75 hp

El motor principal de 75 HP, es el motor del sistema, por medio de éste se hacen girar los helicoidales a una velocidad de 1760 revoluciones por minuto, operados con voltaje 440 trifásicos.

Figura 3. Depósito de aceite del compresor de aire



Figura 4. Compresor de tornillo de 75 hp



Figura 5. Sistema eléctrico: contactores



Figura 6. Motor electrico principal 75 hp



Figura 7. Depósito de aceite 500 horas

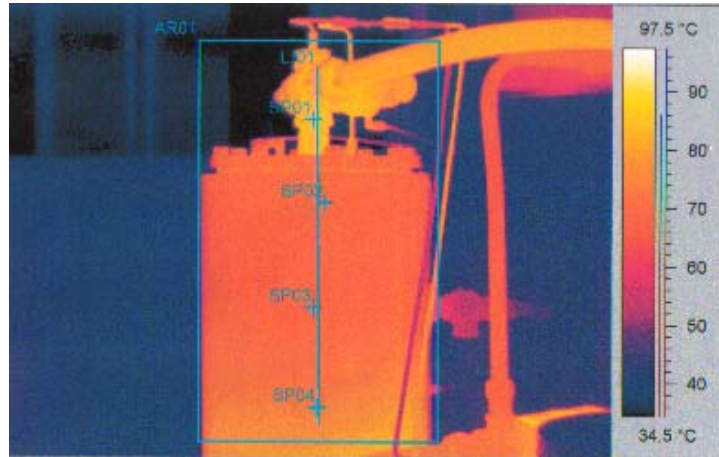


Figura 8. Depósito de aceite 1000 horas

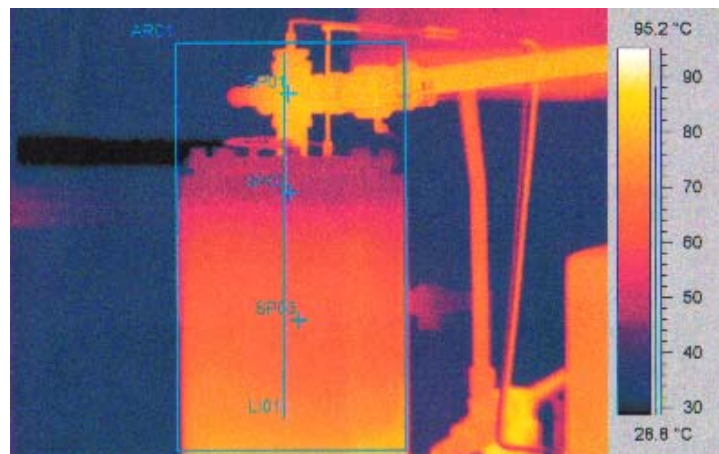


Figura 9. Depósito de aceite 2000 horas

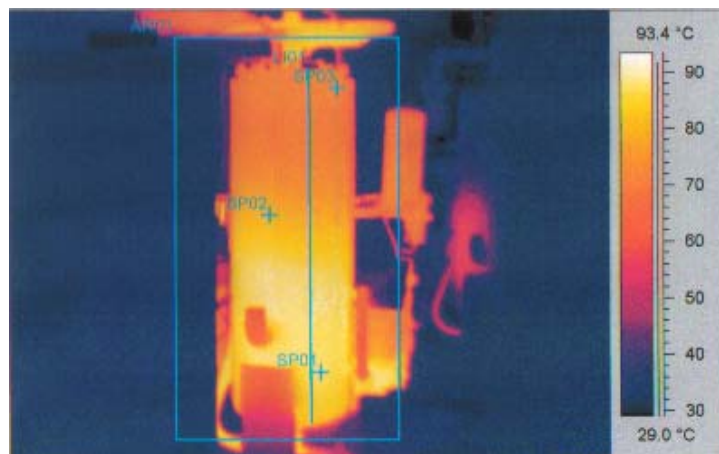


Figura 10. Compresor de tornillo 500 horas

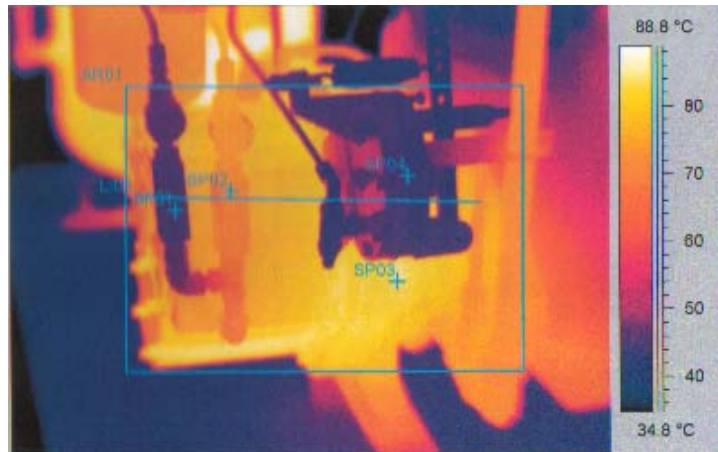


Figura 11. Compresor de tornillo 1000 horas

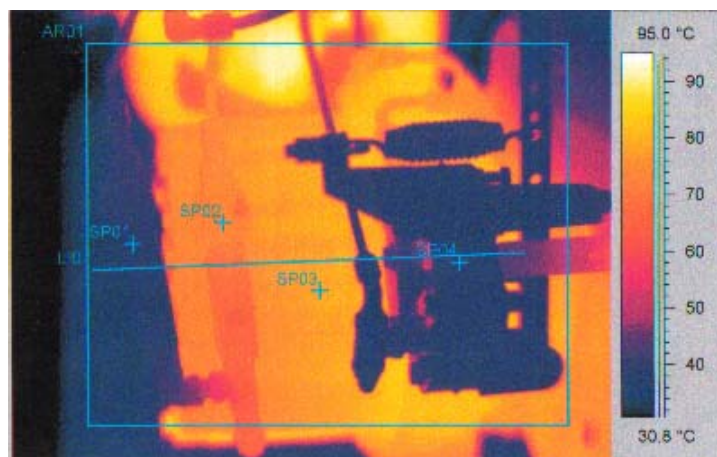


Figura 12. Compresor de tornillo 2000 horas

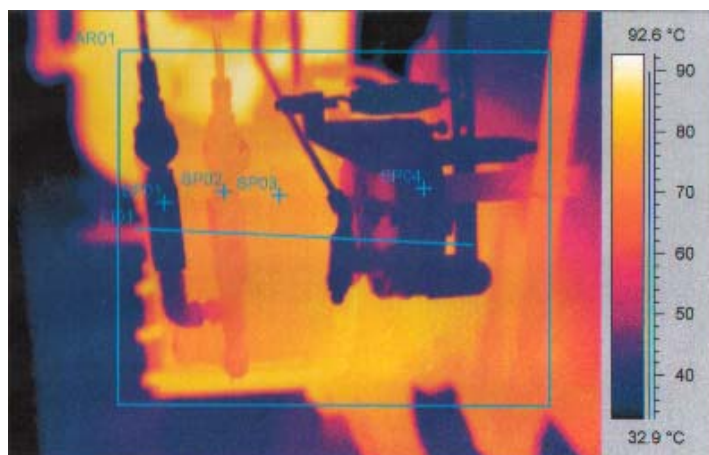


Figura 13. Sistema eléctrico 500 horas

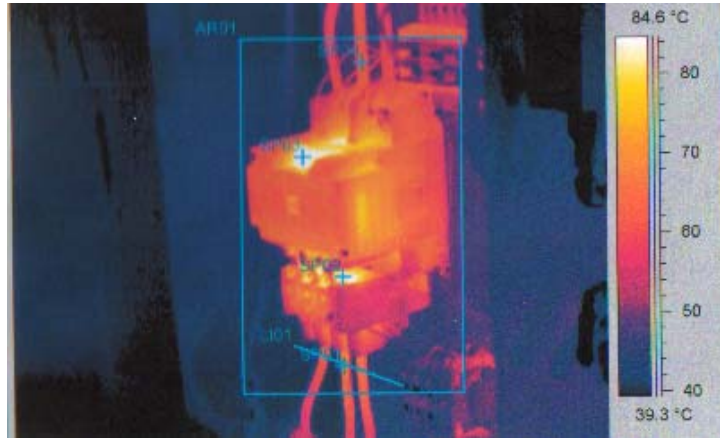


Figura 14. Sistema eléctrico 1000 horas

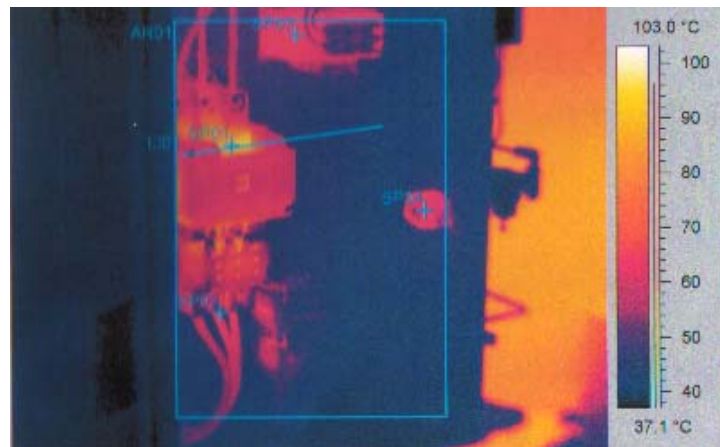


Figura 15. Sistema eléctrico 2000 horas

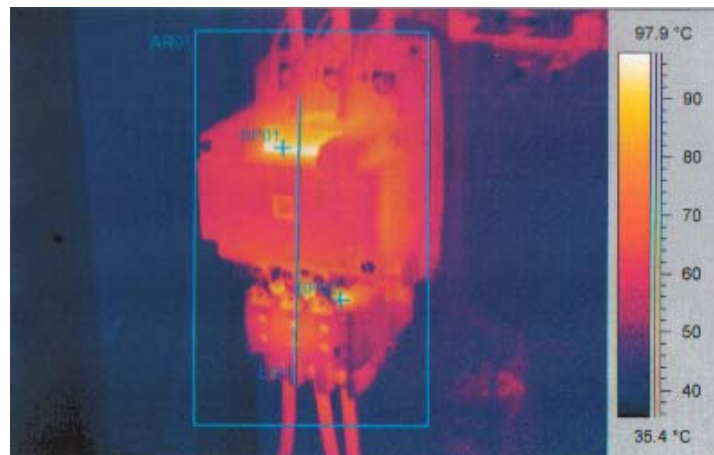


Figura 16. Motor eléctrico principal 500 horas

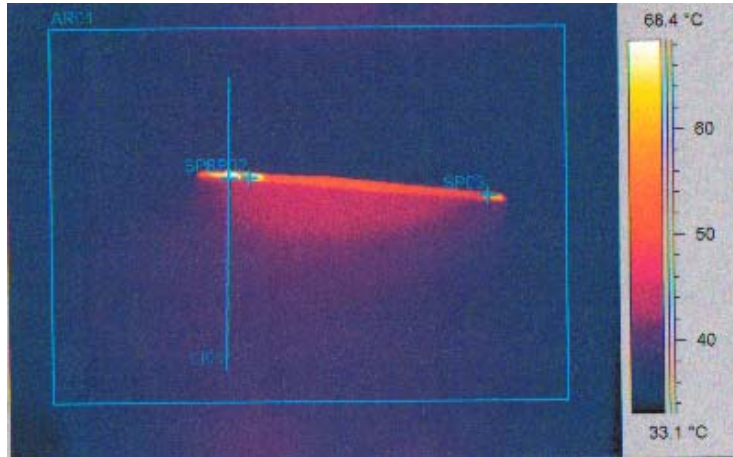


Figura 17. Motor eléctrico principal 1000 horas

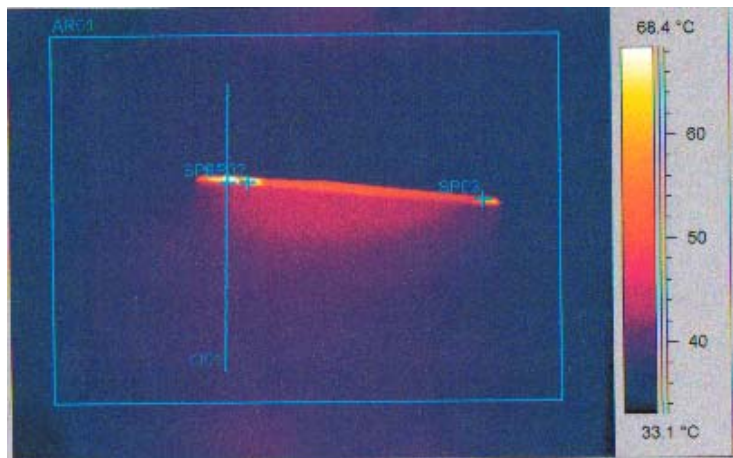
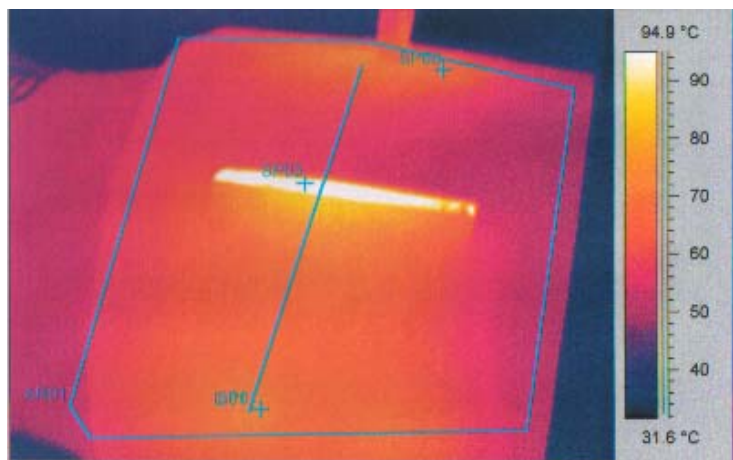


Figura 18. Motor eléctrico principal 2000 horas



3.8 Tendencias y análisis gráfico del mismo

Se debe tomar en cuenta que el análisis termográfico a través de fotografías nos muestran resultados que ofrecen por si mismo un camino a seguir en el mantenimiento predictivo y correctivo, la mejor forma de analizar los resultados de cada una de las fotografías del análisis termográfico es comparando las temperaturas obtenidas por la cámara con las temperaturas de operación de la maquina según el manual de operación. Las temperaturas se grafican en una escala temperatura (°C) vrs. tiempo (horas), con la cual se puede obtener un comportamiento térmico del equipo y decidir en que momento el equipo tiende a generar calor más allá de lo recomendado por el fabricante en funcionamiento u operación normal. Los resultados obtenidos conducen a evaluar el funcionamiento, basándose en ello se debe hacer la debida programación de un mantenimiento correctivo, o bien revisar la demanda que se le esté haciendo al equipo, causante de un sobrecalentamiento en sus partes críticas.

A continuación se presentan los resultados de manera gráfica en coordenadas (x, y) obtenidos en las fotografías de la cámara infrarroja, El *software* incluye la cámara y la presentación grafica en ambiente *windows*.

DATOS TABLA IR

| | |
|---------------------|--|
| -SP1, SP2, SP3, SP4 | Valores de temperatura °C. |
| -LI01 | Valor máximo de temperatura en la toma. °C |
| -AR01 max. AR01 min | Valor máximo y mínimo de temperatura °C |

Tabla III. Depósito de aceite

| Punto de Medición. | 500 Horas. | 1000 Horas. | 2000 Horas. |
|--------------------|------------|-------------|-------------|
| SP01 | 83.7 | 81.8 | 87.6 |
| SP02 | 70.1 | 48.7 | 79.7 |
| SP03 | 70.5 | 65.1 | 71.3 |
| LI01: máx. | 85.6 | 81.9 | 90.3 |
| AR01: máx. | 87.6 | 85.8 | 93.2 |
| AR01 :mín. | 31.8 | 26.6 | 30.5 |

Figura 19. Temperatura-tiempo del depósito de aceite

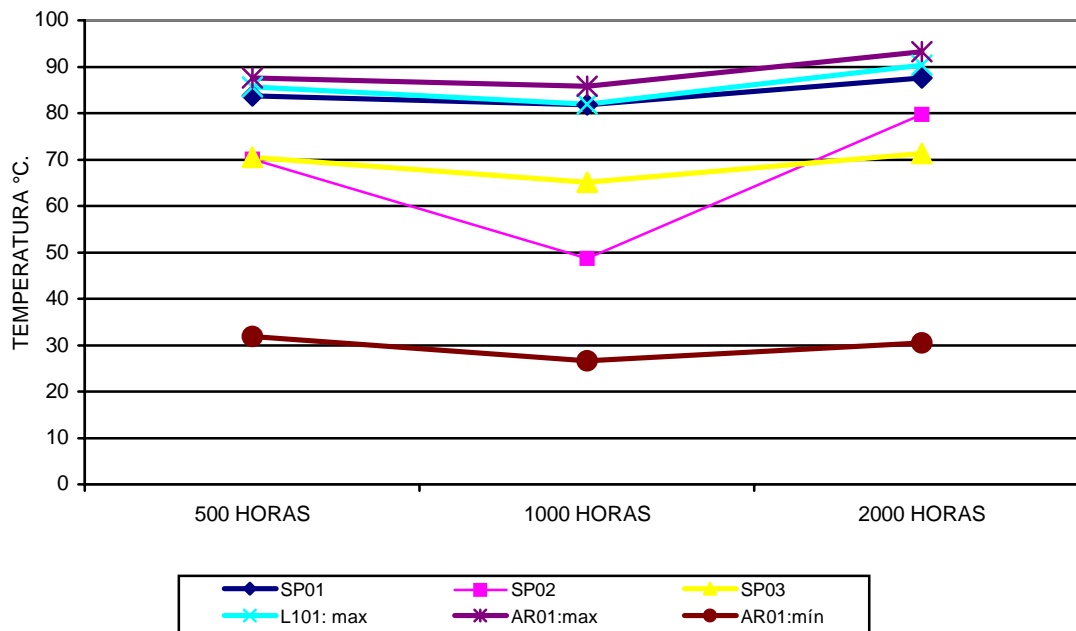


Tabla IV. Compresor de tornillo 75 hp

| Punto de Medición | 500 HORAS | 1000 HORAS | 2000 HORAS |
|-------------------|-----------|------------|------------|
| SP01 | 44.6 | 37.8 | 38.5 |
| SP02 | 71.5 | 72.6 | 73 |
| SP03 | 83.5 | 78.4 | 75.7 |
| SP04 | 43.5 | 36.7 | 39.7 |
| LI01: Máx. | 80.6 | 80.8 | 80.0 |
| AR01 : Máx. | 89.7 | 93.9 | 91.3 |
| AR01: Mín. | 39.6 | 30.6 | 31.1 |

Figura 20. Temperatura-tiempo del compresor de tornillo

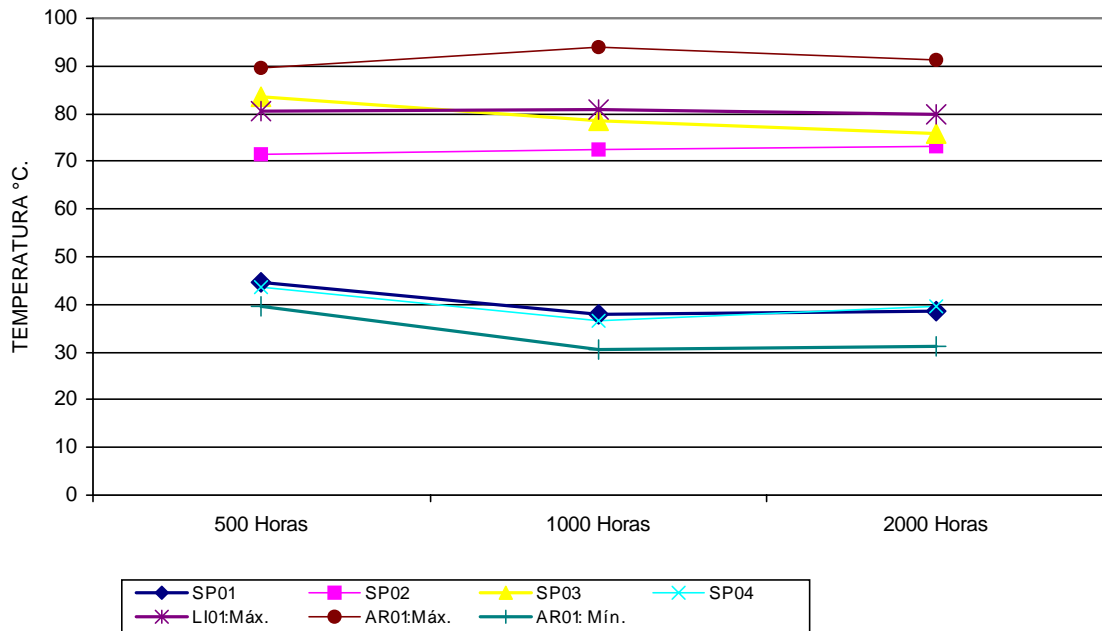


Tabla V. Sistema eléctrico de contactores

| Punto de Medición | 500 HORAS | 1000 HORAS | 2000 HORAS |
|-------------------|-----------|------------|------------|
| SP01 | 66.2 | 55.2 | 52.3 |
| SP02 | 85.5 | 90.0 | 94.1 |
| SP03 | 93.1 | 92.6 | 96.1 |
| SP04 | 61.7 | 64 | 60 |
| LI01: Max. | 67.0 | 98.0 | 95.7 |
| AR01 : Máx. | 97.9 | 98.7 | 100.0 |
| AR01: Mín. | 37.6 | 38.5 | 36.4 |

Figura 21. Temperatura-tiempo del sistema eléctrico de contactores

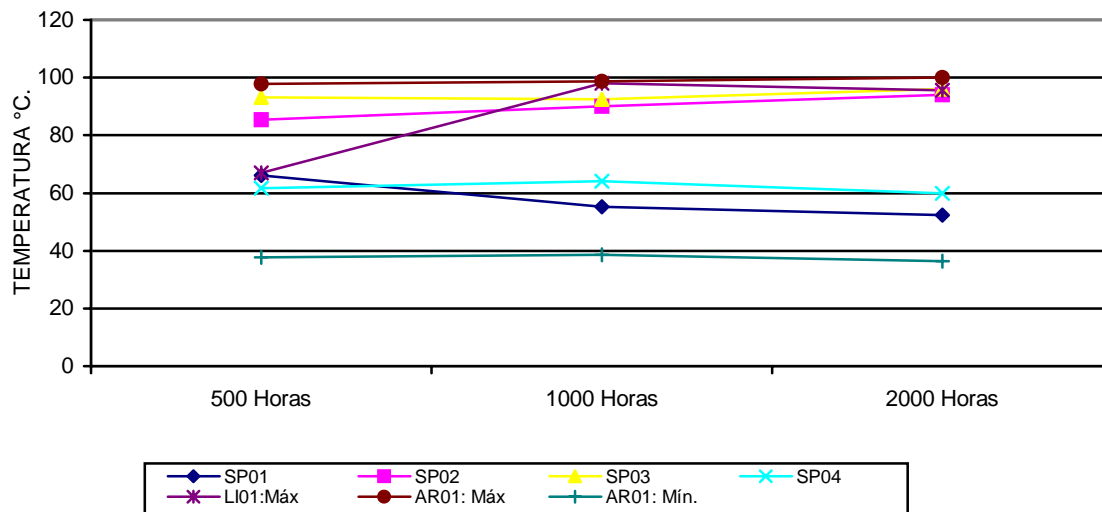
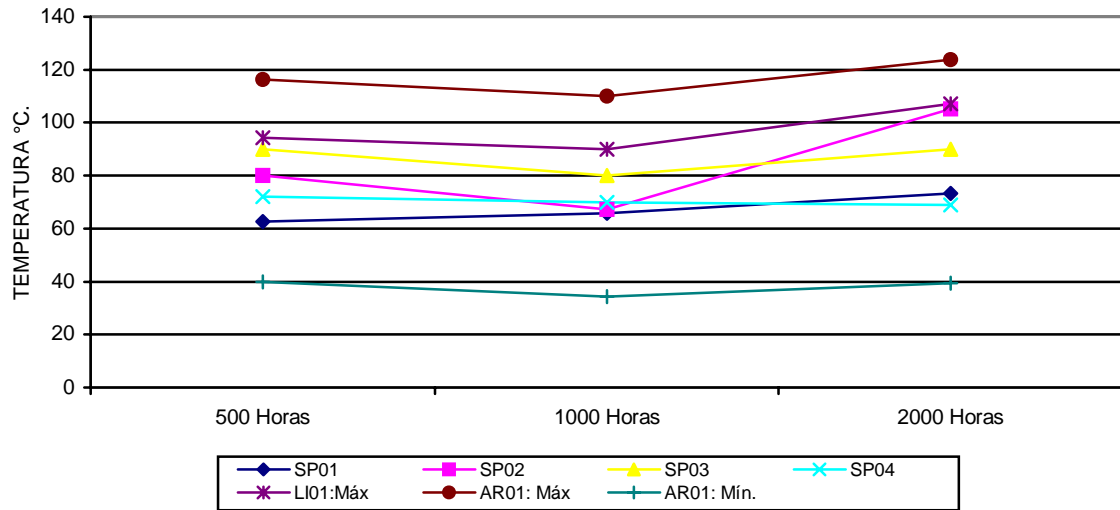


Tabla VI. Motor eléctrico de 75 hp

| Punto de Medición | 500 HORAS | 1000 HORAS | 2000 HORAS |
|-------------------|-----------|------------|------------|
| SP01 | 62.7 | 65.8 | 73.2 |
| SP02 | 80.1 | 67.2 | 105.1 |
| SP03 | 90 | 80 | 90 |
| SP04 | 72.1 | 70 | 68.8 |
| LI01: Max. | 94.2 | 90 | 107.0 |
| AR01 : Máx. | 116.4 | 110 | 123.8 |
| AR01: Mín. | 40 | 34.3 | 39.5 |

Figura 22. Temperatura-tiempo del motor eléctrico de 75 hp



Análisis de resultados

- A)** El comportamiento de los puntos AR01 Y LI01 en las 3 diferentes tomas, a las 500, 1000 y 2000 horas. La temperatura de operación está dentro de los parámetros de operación de la máquina recomendada por el fabricante. Este punto es la parte baja del tanque de aceite.

- B)** El compresor de tornillo presenta varios puntos críticos, la temperatura supera los 90 °C sí embargo está dentro del rango de operación del equipo. Se puede apreciar un incremento en la temperatura en los puntos AR01 Y LI01, que son prácticamente el cuerpo en sí del compresor, es allí el mayor trabajo mecánico que ocasiona el comportamiento apreciado.

- C)** El sistema eléctrico del equipo es importante graficarlo y como se muestra en la grafica, el comportamiento térmico de los contactores muestran un calentamiento en las partes internas, lo que sí pasase de la temperatura aceptable ocasiona cortos circuitos en el sistema. La temperatura máxima mostrada es de casi los 100 °C, lo que lo hace recomendable la inspección periódica de los mismos.

D) El motor eléctrico en los puntos AR01 Y LO01, que son los puntos críticos muy cercanos a los orificios de ventilación, se puede observar la constancia de la grafica en los tres diferentes puntos respecto del tiempo. La temperatura de operación es normal por lo que se puede diagnosticar un funcionamiento estable del mismo con sus componentes como cojinetes en buen estado

3.9 Estimado de la severidad de cambios de condición

Esta es la pregunta central en mantenimiento predictivo y donde su inversión en tiempo, esfuerzo y dinero puede ser recompensado con creces o perdido sin esperanza. ¿Cómo se puede estimar la seriedad de un cambio y decidir si continúa con la operación o la para?. El paro, especialmente si también detiene la producción, no es una decisión fácil. Sin embargo, si usted o alguien más elige continuar la operación y ocurre un daño, las pérdidas serían probablemente menores.

Básicamente necesita examinar cuatro áreas:

- 1) La magnitud del cambio y valor absoluto después del cambio son muy importantes. El primer criterio se explica por sí solo. Si la medición como vibración o temperatura aumenta muy arriba del nivel de peligro, no logra bajarse, mejor es detener la operación mientras pueda. Si experimenta un cambio grande, pero el valor final es razonablemente estable y más o menos dentro de los límites de operación, probablemente tenga algún tiempo para desarrollar el mejor curso de acción. Existen un par de cosas más que recordar en esta situación: Debe permanecer excepcionalmente vigilante, tener planes y estar dispuesto a detener la operación inmediatamente ante cualquier deterioro adicional de condición. Exigir al equipo seguir trabajando bajo tales circunstancias de deterioro o con tiempo prestado y esfuerzos para estirar esta suerte, pueden terminar en daños catastróficos y costosos.

2) Porcentaje de cambio y si la medición o mediciones continúan modificándose es igualmente importante. Porcentaje de cambio es un segundo criterio que debe examinar muy de cerca. Si una medición está cambiando rápidamente, no tiene mucho tiempo. Para salvar el equipo, acción rápida es obviamente necesaria. Por otra parte, si un valor alto es más o menos estable, o su comportamiento puede ser controlado o predecido, tiene tiempo para pensar que hacer. Nuevamente, debe tratar estas circunstancias como viviendo con tiempo prestado.

3) ¿Existen cambios confirmados entre variables relacionadas? Examinando variables relacionadas es la tercer área que debe contemplar. ¿Apunta todo en la misma dirección?. Si un motor eléctrico está sufriendo calentamiento en sus partes internas ocasionando pérdida de eficiencia. Un aumento de vibración en uno de los lados de la máquina generalmente producirá un aumento confirmado en el otro lado. Pérdida en la eficiencia del motor principal producirá cambios en el proceso de producción de aire comprimido y probablemente en la calidad del producto que en éste caso sería aire seco. Si el programa de mantenimiento predictivo es montado apropiadamente, tendrá toda la información que necesita para hacer esta comparación y proceder al mantenimiento correctivo del equipo.

- 4) Finalmente, si hay tiempo, querrá mirar características detalladas como puntos críticos de temperatura para determinar posible causa. Finalmente, si las mediciones son estables, tiene tiempo de estudiar el problema y determinar la probable causa. Aquí es donde mediciones obtenidas por las cámaras infrarrojas detallan la información, y contribuyen a entender y definir el problema exacto.

Su objetivo es de doble propósito:

- I. Entender el problema proveerá una buena idea de sí progresará y con que consecuencias.
- II. Puede planear acción correctiva necesaria y asegurarse que todas las partes, herramientas y personal requerido estén listos y capacitados para implementar acción correctiva en el menor tiempo posible.

3.10 Seguimiento y reportes

El seguimiento es absolutamente necesario. Una vez un problema en los compresores es identificado, diagnosticado y el equipo sacado del servicio para reparaciones, es imperativo para todos los involucrados darse cuenta de la condición actual encontrada y de la acción correctiva. Cuando una máquina es regresada a servicio, luego de reparaciones, el proceso debe documentarse con firmas de fotografías termográficas de antes y después, una descripción breve de las condiciones encontradas y reparaciones efectuadas. Colocando este documento en la libreta de apuntes es una forma excelente de llevar la experiencia y las lecciones aprendidas a todos los que están involucrados con monitores de condición a través de análisis termográfico y también a aquellos que estarán involucrados en el futuro. Reportes de resultados deben ser preparados y distribuidos ampliamente. Un resumen de reporte regular a la gerencia, incluyendo el número de máquinas monitoreadas en un periodo de tiempo determinado, problemas encontrados, ahorros estimados y puntos importantes de la acción correctiva, bien vale la pena el tiempo requerido en su preparación. Reportes con soluciones de problemas descritos en el párrafo anterior deben adjuntarse cuando son de interés particular.

Algunas organizaciones han encontrado altamente beneficioso conducir una reunión anual entre el personal comprometido en monitoreo de condición y la alta gerencia. Una organización presentó a la gerencia una réplica grande de un cheque, representando el ahorro anual gracias al mantenimiento predictivo a través del análisis termográfico. Esta clase de reunión genera y promueve motivación para ambos.

3.11 Importancia del manejo adecuado del historial del equipo

El historial del equipo se convierte en la cartilla médica de la máquina donde se registran todas las fallas y reparaciones que han sido realizadas. Se conoce con certeza cuantas horas han durado las reparaciones, cada componente, horas de duración de unos componentes antes de una reparación y si esta fue total o no.

Una de las razones más importantes para mantener actualizado el historial de cada compresor es que con él se pueda saber fácilmente el costo de cada mantenimiento y el costo total de mantenimiento cada determinado tiempo. En el registro del historial del equipo se debe incorporar cualquier información necesaria para consultas posteriores.

3.12 Conclusión, eficiencia del mantenimiento predictivo por análisis termográfico

Tómese en cuenta que el análisis termográfico aplicado a los compresores de aire en determinados componentes del equipo, como base para diagnosticar un daño dentro del programa de mantenimiento predictivo, no evitará que las piezas y componentes fallen y también no detectará cuando una pieza se rompa por abusos en la exigencia del equipo, golpes o por mala operación; el secreto de la eficiencia de éste tipo de mantenimiento predictivo se basa en el sentido común del encargado de mantenimiento y en el conocimiento del equipo como también de los parámetros que le permite el fabricante.

Muy importante la responsabilidad analítica de la persona de mantenimiento, porque él conocerá las curvas que le son permitidas al equipo. Con el tiempo y la experiencia sabrá muy bien cuando una alerta en una fotografía termográfica, es seria o no, entre más se entienda y se trabaje de ésta forma, más provecho se le puede extraer a ésta información.

El mantenimiento predictivo basado en análisis termográfico aplicado a los compresores de aire tipo tornillo en una embotelladora nos brinda las ventajas de:

1. Localizar problemas potenciales y evitar gastos de reparaciones.
2. El alargamiento de la vida útil de los equipos.
3. Identificación plena de problemas y estado de los mismos.
4. Disminución de costos de reparación urgentes.
5. Programación de prioridades de mantenimiento.

Es importante mencionar que además de las ventajas que nos aporta un mantenimiento predictivo basado por IR, también obtenemos beneficios para la empresa donde laboramos por ejemplo citamos algunos:

1. Reducción de tiempos en paros programados.
2. Verificación de las reparaciones realizadas.
3. Minimización de pérdidas en producción por paros no programados.
4. Eficientar programas de mantenimiento predictivo. (en este caso basados en tecnología IR)

El análisis termográfico no puede ser el único indicador de la necesidad de reparación. Así como un diagnóstico médico puede someter a un paciente a diversos análisis, un análisis de rayos X podría verificar daños o desperfectos en su funcionamiento corporal, puede verificar presión sanguínea, observar funcionamiento de órganos diversos a través de otros análisis, o con solo escuchar los sonidos del pecho, incluso con preguntarle acerca de los síntomas últimamente presentados y luego prescribirle un plan de acción. El encargado de mantenimiento debe buscar otros indicadores que le permitan evaluar el problema y determinar lo que se necesita hacer.

Inspecciones regulares de los compresores de aire de una embotelladora ahorra a la compañía decenas de miles de quetzales cada año. Dicha compañía envasadora de aguas gaseosas descubrió un punto de alta temperatura en uno de sus puntos críticos de los motores principales. Si el problema no se hubiera detectado, pudo haber costado a la compañía miles de quetzales por hora de tiempo muerto debido al paro en el proceso de envasado. La pérdida total de producción en una compañía de este tipo se estima alta en cantidad de quetzales de inversión.

El ahorro de la compañía embotelladora de aguas gaseosas por utilizar el mantenimiento predictivo a través del análisis termográfico se ve de la siguiente manera:

1. Ahorro del personal por tiempo perdido
2. Costos de la compostura del equipo fallado
3. Costo por paro de maquinaria

Total ahorrado: un considerable porcentaje de lo presupuestado para mantenimiento y reparaciones de aproximadamente 50%.

Quiere decir que la inversión de un mantenimiento predictivo se auto paga con los resultados obtenidos, y la realización de los mantenimientos.

CONCLUSIONES

1. Un plan de mantenimiento predictivo permite planificar adecuadamente las reparaciones mayores minimizando los costos y maximizando la vida útil de los componentes.
2. Este tipo de mantenimiento predictivo a través de análisis termográfico y otros citados en este estudio, permiten al encargado de mantenimiento de maquinaria, mantener controlados los componentes más críticos de cada equipo, logrando así minimizar las fallas que se presenten, detectando de manera predecible los daños ocasionados por desgaste, mal uso, etc. Y de esta manera corregir no solamente la falla sino también corregir el uso del equipo, llevando a una eficiente producción a la compañía.
3. La creación de un banco de datos con todos los historiales actualizados de cada una de las máquinas o equipos utilizados en la compañía, dentro del programa de mantenimiento, permite el acceso sencillo a toda la información que pueda ser requerida en cualquier momento importante.

4. Los costos generados al aplicar el mantenimiento predictivo por IR son considerablemente bajos, comparados con los beneficios que con esta información se obtienen, además de los costos que se generan de mantenimiento correctivos y horas de producción muertas innecesarios. Es de suma importancia monitorear los contaminantes externos que afecten el buen funcionamiento del equipo, en los lugares donde están instalados dicho equipos.

5. Es necesario tener en el departamento de mantenimiento los catálogos, manuales de usuario donde se especifican y se recomiendan los parámetros de uso, la calendarización de los mantenimientos preventivos, que inevitablemente se deben llevar a cabo y en cuanto a seguridad del mismo equipo, los cuales permiten programar de manera preventiva las reparaciones antes de que los elementos más críticos sean afectados.

6. El mantenimiento predictivo tiene el objetivo de conservar un equipo o máquina en su ser o estado, y esto viene desde el mantenimiento del hogar hasta el mantenimiento de tipo industrial. El mantenimiento se refiere a conservar en buen estado el equipo esencial de producción como también las instalaciones de la compañía.

RECOMENDACIONES

1. El mantenimiento debe verse como una inversión y no como un gasto, el departamento de mantenimiento se debe beneficiar con la implementación del mantenimiento predictivo, minimizando costos y aumentando la capacidad de producción.
2. No se debe considerar al mantenimiento como un mal necesario sino al contrario, como un departamento que permitirá el mejor funcionamiento de toda la compañía.
3. Cualquier plan de mantenimiento debe estar bien desarrollado, y la actitud de todos los involucrados deberá ser positiva y colaboradora con el afán de ejecutar un plan de alta eficiencia.
4. Establecer con claridad los objetivos que se desea alcanzar, generalmente los objetivos de la compañía son de bajar costos de mantenimiento y costos de mantenimientos correctivos y mejorar la disponibilidad del equipo.

5. El programa de mantenimiento predictivo a través de IR genera informes en las tomas de fotografías termográficas. Las fotos tomadas en momentos inadecuados; como por ejemplo en momentos en que la máquina acaba de empezar a funcionar, nos proporcionan datos erróneos.

6. Las fotografías tomadas en forma poco frecuente o fuera del programa establecido no detectan el problema potencial, y aquellas tomadas con demasiada frecuencia generan gastos de mantenimiento no contemplados, todos estos factores tienden a incrementar los costos operativos del mantenimiento predictivo.

7. El equipo involucrado en el mantenimiento predictivo, desde la persona que toma la fotografía termográfica y el personal de mantenimiento y administrativo, deben comprometerse a actuar sobre la base de la información producida por el equipo IR.

BIBLIOGRAFÍA

1. De la Roca, José. **Desarrollo de un programa de inspección termográfica.** Local 2, diagonal 1 INA de Heredia, Costa Rica 1999
2. Lucía Lucía, J.M. **Criterios para la información de la gestión del mantenimiento.** RM. Revista de mantenimiento No1. 1990 ISS 07168.
3. Mitchel, John S. **Estableciendo un programa de mantenimiento predictivo.** Traducción: Ana de Sárate. Guatemala 2001.
4. Saavedra, G. Pedro. **Mantenimiento predictivo y monitoreo según condición.** Parte II Revista de mantenimiento No. 4 1991 mayo y junio.
5. Saavedra, G. Pedro. **Mantenimiento predictivo y monitoreo según condición.** Revista de mantenimiento No. 3 1990-91 ISS 0716-861.
6. **Diagnóstico de termografía infrarroja.** Diagnostico técnico. Guatemala C.A. 2003. diatec@terra.com.gt
7. **Ingeniería especializada en mantenimiento predictivo.** 2003
www.preditec.com/
8. **Mantenimiento preventivo industrial.** Mantenimiento predictivo. 2001.
www.mantenimiento-predictivo.com/servicios.htm
9. **Manual de procedimientos y datos técnicos.** Mantenimiento predictivo. 2001.
www.suscorp.com/beneflub.htm

