

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

"CONSIDERACIONES SOBRE MANTENIMIENTO Y
OPERACION DE UNA PLANTA INDUSTRIAL"

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

JOSE JOAQUIN GAROZ CABRERA

Al conferírsele el título de

INGENIERO MECANICO

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

Guatemala, marzo de 1972

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
08
T(11)

JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

| | |
|-----------------|--------------------------------|
| Decano : | Ing. Hugo Quan Má |
| Vocal Primero : | Ing. Marco Tulio Samayoa |
| Vocal Segundo : | Ing. Rodolfo González M. |
| Vocal Tercero : | Ing. Adolfo Behrens |
| Vocal Cuarto : | Br. Jorge Luis Cabrera Morales |
| Vocal Quinto : | Br. Manuel Rendón Paz |
| Secretario : | Ing. José Luis Terrón C. |

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

| | |
|--|-----------------------------|
| Decano : | Ing. Marco Tulio Samayoa |
| Director Escuela Ingeniería Mecánica-Industrial : | Ing. Francisco Billeb Vela |
| Examinador : | Ing. Richard Köhler Gebhart |
| Examinador : | Ing. José Manuel Prado |
| Secretario Interino : | Ing. Otto Palma Recinos |

DEDICO ESTE ACTO

A DIOS

A MIS PADRES:

Lic. José Joaquín Garoz Villatoro
Raquel Cabrera de Garoz

A MI ESPOSA:

Olga Lucrecia Matta de Garoz

A MIS HERMANOS:

Manuel Antonio
Rosemary
Carlos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la Ley Universitaria tengo el honor de presentar ante vosotros mi trabajo de tesis titulado:

"CONSIDERACIONES SOBRE MANTENIMIENTO Y
OPERACION DE UNA PLANTA INDUSTRIAL"

Tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| INTRODUCCION | I |
| I GENERALIDADES | 1 |
| II EL USO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | 11 |
| Beneficios de los Ensayos No Destructivos | 14 |
| Pruebas de Presión y Filtración | 17 |
| Inspección con Líquidos Penetrantes | 17 |
| Métodos Radiográficos | 23 |
| Ensayos con Partículas Magnéticas | 28 |
| Métodos Ultrasónicos | 30 |
| III MANTENIMIENTO DEL EQUIPO ELECTRICO | 35 |
| Causas Generales de las Fallas | 36 |
| Operaciones Esenciales | 38 |
| Mantenimiento de Motores de Inducción | 39 |
| Mantenimiento de Transformadores | 40 |
| Reglas de Seguridad | 42 |
| Resumen | 42 |
| IV LUBRICACION | 45 |
| Propósito de la Lubricación | 46 |
| Descripción y Características de los Aceites Lubricantes | 48 |
| Análisis de Aceites Lubricantes | 51 |
| Cojinetes | 52 |
| V EL CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO | 57 |
| CONCLUSIONES | 61 |
| BIBLIOGRAFIA | 63 |

INTRODUCCION

El fin primordial del Ingeniero es hacer las cosas en la forma más eficiente y más económica posible. La profesión de la Ingeniería se ocupa de las herramientas que pueden realizar una función en mejor forma que la mano del hombre; con la potencia que excede millones de veces la de los músculos; con los materiales, ya sea que éstos ocurran en la naturaleza o que sean ideados por el físico o el químico; y, sobre todo, con los métodos necesarios para utilizar estos elementos hacia la consecución de un fin.

Toda industria moderna es esencialmente un complejo hombre-máquina que necesita de un sistema de organización para desarrollar satisfactoriamente sus actividades. Este sistema utiliza departamentos para distribuir las funciones de la empresa al personal idóneo para realizarlas. Uno de estos departamentos es invariablemente, en una empresa bien organizada, el de Mantenimiento. Esto se debe a que la operación segura y eficiente de una planta solo puede ser obtenida mediante el mantenimiento adecuado de las máquinas y del resto del equipo.

Este trabajo considerará algunos aspectos generales del tema, tratando de enfocarse aspectos técnicos importantes, con una sucinta mención de la parte administrativa del mismo.

En el actual plan de estudios, el curso que está destinado a enseñar los aspectos generales del mantenimiento de una planta, es el de Montaje y Mantenimiento de Equipo. El presente trabajo de tesis tiene el propósito de servir como una fuente adicional de información al estudioso de esta materia.

GENERALIDADES

Las máquinas modernas son productos de cuidadosas investigaciones y manufactura de precisión. Si son instaladas apropiadamente y se les proporciona el cuidado y atención debidos, darán un servicio confiable y satisfactorio por muchos años. La operación ventajosa de una planta es posible solamente con un mantenimiento adecuado de las máquinas y del resto del equipo.

Las máquinas y edificios se desgastan continuamente y por ello necesitan reparaciones periódicas. En las máquinas la reparación se hace necesaria debido al desgaste ocasionado por el constante movimiento de las piezas. El equipo eléctrico también necesita servicio de mantenimiento. Las calderas y los intercambiadores de calor necesitan de inspección y limpieza periódica, además de un adecuado tratamiento químico del agua de alimentación. Esto debe hacerse para evitar las acumulaciones de hollín e incrustaciones que entorpecen la transferencia de calor debido a su baja conductividad térmica. Para la utilización adecuada y económica de los combustibles, es necesario que las cámaras de combustión cuenten con las condiciones necesarias para una buena combustión, especialmente la relación correcta de aire a combustible, la cual es generalmente controlada por el operador.

Las fallas en el equipo detienen la producción, ponen en inactividad a hombres y a máquinas, ocasionan pérdidas de producción y retrasan las entregas. Es por esto que el buen mantenimiento debe prevenir las fallas además de realizar las reparaciones necesarias. El mantenimiento preventivo bien programado y ejecutado puede evitar muchos problemas serios. Debe tomar en cuenta la disponibilidad del equipo y el factor económico. El mantenimiento preventivo significa en realidad prevenir las fallas que causan interrupciones de trabajo.

La prevención de las fallas en una fábrica depende de: (a) no sobrecargar el equipo, (b) la lubricación de todas las partes en movimiento, y (c) el reemplazo de las piezas desgastadas antes de que fallen. Es necesario también mantener en existencia las piezas de repuesto más difíciles de conseguir y, con las unidades críticas, contar con máquinas de reposición listas para entrar en servicio. Para poder reemplazar las piezas desgastadas antes de que fallen es necesario inspeccionarlas periódicamente en busca de desgaste o grietas y planificar trabajos de reparación total para las máquinas con largo tiempo de servicio.

Los inspectores deben contar con una lista de comprobación para cada máquina, que les permita hacer una revisión completa en busca de posibles necesidades de reparación. Algunas máquinas requieren una inspección más frecuente que otras. Una máquina puede requerir un ajuste semanal, una revisión mensual en busca de desgaste y una revisión y reparación total cada año. La frecuencia de las inspecciones y reparaciones debe ajustarse al uso y predominancia del equipo.

El interés principal de los ejecutivos con respecto al mantenimiento es que éste sea económicamente rentable y que la planta se mantenga en operación. El control de los costos crea un problema considerable. Si se ejecuta un mantenimiento excesivo, el número de las fallas disminuye pero el mantenimiento se vuelve antieconómico y por lo tanto ineficiente. La inspección excesiva es un gasto inútil y es por ello que el programa de inspecciones debe ser estudiado cuidadosamente, tomando en consideración todos los factores necesarios para cada unidad del equipo. Sin embargo, es inevitable que para un buen servicio de mantenimiento en la fábrica, los costos en este renglón no pueden ser demasiado bajos.

Generalmente el mantenimiento se asigna al ingeniero de planta. Este tiene frecuentemente a su cargo un taller de maquinaria y el departamento de mantenimiento de la planta. El taller de maquinaria sirve para mantener las máquinas y el equipo en estado de funcionamiento, facilitando las reparaciones necesarias. El departamento de mantenimiento se encarga de la organización, supervisión y ejecución de todas las operaciones necesarias para mantener en buen estado el equipo, los edificios y los servicios de los mismos.

Los servicios de la planta incluyen líneas eléctricas, interruptores, controles, motores, tuberías, válvulas, iluminación, recipientes a presión, el equipo de aire acondicionado, las líneas de aire comprimido y de vapor, los sistemas de agua fría y caliente y el equipo de ventilación. También el equipo de transportación y manejo de materiales.

El departamento de mantenimiento tiene la responsabilidad total del mantenimiento de los servicios de la planta. Debe determinar qué necesita reparación, obtener la autorización respectiva y luego realizar la reparación. El mantenimiento de los servicios difiere algo del mantenimiento de las máquinas de la fábrica por su colocación, variedad e importancia para el funcionamiento de la fábrica. La inspección de los servicios debe cubrirlos a todos a pesar de estar diseminados y debido a su importancia se debe ejecutar un mantenimiento preventivo eficiente. Los servicios que no son críticos, tales como la limpieza general de la planta, el lavado de ventanas y la pintura, pueden ser mantenidos a conveniencia del departamento. Los servicios que representan un peligro para el personal en el caso de una falla, deben ser inspeccionados frecuentemente por razones de seguridad.

Con respecto a la maquinaria de producción, lo primero que debe hacerse para reducir los costos de su mantenimiento es instruir a los operarios acerca de cómo manejar sus máquinas apropiadamente y luego supervisar que así lo hagan. Los operarios de las máquinas deben hacer funcionar su equipo a las velocidades recomendadas y además no deberán recargarlas. Muchas veces se les puede responsabilizar del empuje de sus máquinas y de colaborar en el mantenimiento de las mismas, reportando cualquier señal de desgaste. Además, puede ser de gran utilidad para reducir los costos, el que los operarios colaboren en la operación de reparar una máquina que se ha descompuesto debido a manejo deficiente, ya que así la observan mejor, aprenden cómo cuidarla y no tendrán excusa para cometer errores que deterioren el equipo.

Generalmente las piezas defectuosas son muy raras en las máquinas construidas por fabricante de renombre, razón por la cual cuando ocurren descomposturas éstas probablemente se deben a operación defectuosa, a sobrecarga o a piezas sin lubricación adecuada. Si se cuenta con la colaboración de los empleados de los departamentos de producción, habrá pocas interrupciones debido a que su operación y conservación adecuada de sus máquinas reducirá la necesidad de reparaciones.

Las reparaciones de importancia y las revisiones generales son realizadas por los mecánicos del taller. En algunas plantas, ciertas máquinas usadas regularmente son desarmadas y reconstruidas periódicamente, reemplazando las partes desgastadas. Esta práctica casi elimina las interrupciones durante las operaciones.

La mayor parte del trabajo de mantenimiento, exceptuando la reconstrucción de máquinas, tiene que ser hecho en el lugar de la dificultad por artesanos que trabajan con herramientas de mano o con herramientas portátiles accionadas a motor. Por ello se les debe proveer con algún medio para transportar sus herramientas y materiales. La mejor solución puede ser un pequeño estante móvil con compartimientos.

Se debe elaborar un programa de servicio de mantenimiento para cada unidad y éste debe ser seguido tan cuidadosamente como lo permitan las condiciones de operación. En la hoja de este programa debe especificarse el número máximo permisible de horas de operación entre inspecciones para la unidad referida. Este período de tiempo variará de acuerdo con el tamaño del motor, el tipo de carga y el carácter del servicio y su correcta determinación es la responsabilidad del superintendente de la planta, quien debe considerar las recomendaciones de los fabricantes del equipo.

En una planta nueva o con equipo nuevo, es un buen procedimiento fijar un período inicial corto entre las inspecciones de las diferentes unidades y más tarde, cuando la experiencia haya demostrado que dentro del período prescrito una cierta máquina no muestra mucha suciedad, desgaste o pérdida de ajuste, aumentar gradualmente la duración entre inspecciones. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la suciedad, el desgaste y la pérdida de ajuste no siguen, en general, un curso lineal con respecto al tiempo. Por ello, para prevenir un mayor daño es mucho mejor hacer la siguiente inspección algo adelantada y no algo atrasada.

En las siguientes páginas se muestran unas formas típicas de programas para la inspección y mantenimiento de motores Diesel y diversas clases de equipo, en forma abreviada. Debe advertirse que estas formas no corresponden a un motor específico, sino a cualquiera. Cuando se aplique a un cierto motor, algunas líneas en el programa pueden no ser aplicables y probablemente algunas otras tendrán que ser agregadas. El objeto de estos programas es sobre todo llamar la atención al número de inspecciones y comprobaciones que deben realizarse a intervalos regulares, aunque diferentes, si un motor y la planta misma van a ser mantenidos en buenas condiciones de operación. Cuando un motor es operado intermitentemente, el número de horas de operación puede ser bajo, pero aún sucederán ciertos fenómenos desfavorables tales como la corrosión, la oxidación del aceite y el asentamiento de los cimientos. Por ello, en la segunda columna se dan tiempos límites en meses y la inspección y servicio deberá ha-

TABLA 1. PROGRAMA DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE UN MOTOR DIESEL

Marca del Motor: _____ Tipo: _____ Potencia Nominal: _____ bhp

| No. | Parte del motor a inspeccionar | Tiempo máximo recomendado entre inspecciones | |
|---|--|--|-------|
| | | Horas de operación | Meses |
| 1 | Cilindros y pistones del motor | 6,000 | 9 |
| 2 | Válvulas de admisión..... | 3,000 | 6 |
| 3 | Válvulas de escape | 1,500 | 3 |
| 4 | Válvulas de aire para el arranque | 4,000 | 6 |
| 5 | Válvulas de seguridad o de alivio..... | 100 | 1 |
| 6 | Cilindros y pistones del compresor de aire | 3,000 | 6 |
| 7 | Válvulas del compresor; succión y descarga | 1,500 | 2 |
| 8 | Cilindro y pistón, o rotor, de la bomba de barrido..... | 3,000 | 6 |
| 9 | Válvulas de la bomba de barrido; succión y descarga..... | 3,000 | 6 |
| 10 | Pórticos de barrido y válvulas automáticas | 3,000 | 6 |
| 11 | Reguladores de flujo del gas de escape | 2,000 | 6 |
| 12 | Silenciador y ductos de escape | 6,000 | 12 |
| 13 | Cojinetes y chumaceras principales | 6,000 | 12 |
| 14 | Cojinete exterior | 6,000 | 12 |
| 15 | Cojinete de empuje | 6,000 | 12 |
| 16 | Muñones del cigüeñal y cojinetes | 3,000 | 6 |
| 17 | Pasadores de los pistones y sus cojinetes | 6,000 | 12 |
| 18 | Guías y zapatas de las crucetas | 6,000 | 12 |
| 19 | Pasadores y cojinetes de los pistones del compresor | 3,000 | 6 |
| 20 | Cojinetes del eje vertical | 4,000 | 6 |
| 21 | Cojinetes del eje de levas | 4,000 | 6 |
| 22 | Mecanismo de transmisión del eje de levas | 2,000 | 2 |
| 23 | Bombas de combustible | 4,000 | 8 |
| 24 | Mecanismo de transmisión de las bombas de combustible . | 2,000 | 3 |
| 25 | Toberas o válvulas de combustible y regulación del combustible | 500 | 1 |
| 26 | Uniones, cojinetes y muelles del regulador | 4,000 | 6 |
| 27 | Mecanismo de transmisión del regulador | 4,000 | 6 |
| 28 | Pistones enfriados por agua o aceite; empaques, cojinetes juntas de rótula y gozne | 3,000 | 6 |
| Depósitos de incrustaciones y sedimentos: | | | |
| 29 | Culatas y cubiertas de los cilindros | 1,000 | 2 |
| 30 | Conductos de enfriamiento de los pistones | 2,000 | 4 |
| 31 | Culatas y cubiertas en el compresor | 3,000 | 6 |

TABLA 2. PROGRAMA DE INSPECCION DE EQUIPO DEL MOTOR

Marca del Motor: _____ Tipo: _____ Potencia Nominal: _____ bhp

| No. | Equipo a Inspeccionar y Servir | Tiempo máximo recomendado entre inspecciones | |
|--|--|--|-------|
| | | Horas de operación | Meses |
| Sistema de Combustible: | | | |
| 1 | Filtros y coladores | 200 | 1 |
| 2 | Bombas de alimentación y transferencia de combustible.. | 2,000 | 4 |
| 3 | Tanques auxiliares de almacenamiento | 1,000 | 3 |
| 4 | Líneas de suministro | 1,000 | 3 |
| 5 | Calentadores para aceite combustible pesado | 3,000 | 6 |
| Sistema de Lubricación: | | | |
| 6 | Bombas de aceite lubricante, completas | 3,000 | 6 |
| 7 | Mecanismo de transmisión de la bomba de lubricación... | 3,000 | 6 |
| 8 | Líneas de suministro de aceite | 1,000 | 2 |
| 9 | Filtros y coladores de aceite | 200 | 1 |
| 10 | Tanques de aceite | 2,000 | 4 |
| 11 | Enfriadores de aceite, ajuste y remoción de depósitos ... | 3,000 | 6 |
| 12 | Lubricadores alimentados a presión y válvulas de retención | 3,000 | 6 |
| 13 | Cárter de aceite, sedimentos y superficie | 2,000 | 4 |
| Sistema de admisión de aire: | | | |
| 14 | Filtros de aire | 300 | 1 |
| 15 | Ductos de succión de aire | 2,000 | 3 |
| 16 | Silenciadores de entrada de aire | 2,000 | 3 |
| 17 | Enfriadores de aire | 3,000 | 4 |
| 18 | Silenciador de escape, sedimentos y ajuste | 2,000 | 4 |
| Indicadores de Presión - comprobarlos con calibradores de norma | | | |
| 19 | Aceite lubricante | 3,000 | 6 |
| 20 | Agua de enfriamiento | 3,000 | 6 |
| 21 | Aire comprimido | 3,000 | 6 |
| 22 | Pirómetro del gas de escape, comprobarlo con uno de norma | 3,000 | 6 |
| 23 | Alambres de conexión del pirómetro, comprobar su aislamiento | 3,000 | 6 |
| Válvulas de alivio de presión: | | | |
| 24 | Aceite combustible | 3,000 | 6 |
| 25 | Aceite lubricante | 3,000 | 6 |
| 26 | Aire comprimido | 3,000 | 6 |
| 27 | Agua de enfriamiento | 3,000 | 6 |

TABLA 3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE ENFRIAMIENTO, COMBUSTIBLE Y AIRE

| No. | Equipo a Inspeccionar y Servir | Meses entre inspecciones |
|-----|---|--------------------------|
| | Torre de Enfriamiento: | |
| 1 | Limpiar, ajustar y nivelar las artesas | 2 |
| 2 | Limpiar los enrejados de distribución | 1 |
| 3 | Limpiar e inspeccionar las pantallas o defensas | 1 |
| 4 | Drenar y limpiar el estanque | 6 |
| 5 | Tratamiento de sulfato cúprico contra algas | 6 |
| 6 | Estanque de rocío: limpiar y ajustar las toberas rociadoras | 1 |
| | Intercambiadores de Calor para el Agua de Enfriamiento: | |
| 7 | Limpiar los tubos y eliminarles las incrustaciones..... | 3 |
| 8 | Inspeccionar en busca de fuga y sellarlas | 3 |
| | Pozos de Agua: | |
| 9 | Comprobar nivel estático | 6 |
| 10 | Comprobar nivel de bombeo | 6 |
| 11 | Comprobar flujo | 6 |
| | Bombas de Agua: | |
| 12 | Comprobar presión de succión con manómetro | 6 |
| 13 | Comprobar presión de descarga con manómetro | 6 |
| 14 | Comprobar caudal de descarga | 6 |
| 15 | Comprobar potencia entregada a cada bomba | 3 |
| 16 | Comprobar la velocidad de las bombas | 3 |
| 17 | Desmontar las bombas e inspeccionarlas en busca de desgaste | 6 |
| 18 | Comprobar los cojinetes de empuje y tolerancias | 6 |
| 19 | Drenar y renovar el aceite de los cojinetes | 4 |
| | Tuberías de Agua: | |
| 20 | Inspeccionar en busca de fugas | 3 |
| 21 | Limpiar y pintar la tubería expuesta | 12 |
| | Tanques de Almacenaje de Aceite: | |
| 22 | Drenar el agua | 6 |
| 23 | Inspeccionar en busca de fugas | 6 |
| 24 | Escurrirlos y limpiarlos | 12 |
| 25 | Limpiar y pintar el exterior | 12 |
| | Tuberías de Aceite Combustible: | |
| 26 | Inspeccionar en busca de fugas | 6 |
| 27 | Limpiar y pintar la tubería expuesta | 12 |
| | Compresores de Aire: | |
| 28 | Drenar y renovar el aceite | 3 |
| 29 | Inspeccionar válvulas y cojinetes | 3 |
| 30 | Revisión general | 12 |

TABLA 4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO ELECTRICO Y DEL EDIFICIO

| Equipo a Inspeccionar y Servir | Meses entre inspecciones |
|---|--------------------------|
| Cuadro de Distribución: | |
| Limpiar con aspiradora de polvo | 1 |
| Comprobar la tierra, tierras involuntarias y conexiones a tierra | 1 |
| Inspeccionar los interruptores, el aceite y los contactos | 3 |
| Probar los medidores de watts-hora e instrumentos indicadores | 3 |
| Comprobar, ajustar y anotar las posiciones del relevador | 1 |
| Limpiar e inspeccionar los bujes y protectores | 2 |
| Generadores: | |
| Limpiar con aspiradora de polvo..... | 1 |
| Limpiar y barnizar embobinados | 6 |
| Inspeccionar anillos y escobillas del colector | 1/2 |
| Comprobar espacios de aire | 1 |
| Probar las tierras de la armazón | 1 |
| Probar el aislamiento | 1 |
| Excitadores y Motores: | |
| Limpiar con aspiradora de polvo | 1 |
| Limpiar y barnizar embobinados | 6 |
| Comprobar espacios de aire..... | 1/2 |
| Comprobar el acoplamiento y la alineación de la polea o el piñón | 1 |
| Inspeccionar el conmutador y las escobillas | 1/2 |
| Probar el aislamiento | 1 |
| Equipo de Arranque Eléctrico: | |
| Limpiar con aspiradora de polvo | 1 |
| Inspeccionar los contactos y el aceite | 3 |
| Comprobar, ajustar y anotar las posiciones del relevador de sobrevoltaje y sobrecarga..... | 2 |
| Inspeccionar y probar el interruptor, el conducto y la tierra de la armazón del motor | 6 |
| Comprobar el aislamiento y la resistencia dieléctrica en los transformadores.. | 12 |
| Comprobar el nivel de agua y la carga del acumulador | 1/2 |
| Extintores de Incendio: | |
| Inspeccionarlos y anotar su existencia | 6 |
| Descargar y recargar, los del tipo de soda, ácido o espuma | 12 |
| Probar y llenar los del tipo de tetracloruro | 12 |
| Edificio de la Planta: | |
| Limpiar todas las ventanas, por dentro y por fuera | 6 |
| Reemplazar todos los vidrios rotos | 3 |
| Inspeccionar el techo y arreglar grietas y goteras | 12 |
| Inspeccionar y limpiar las alcantarillas y cunetas | 12 |
| Inspeccionar el alámbrado eléctrico | 6 |
| Inspeccionar las tuberías | 6 |
| Inspeccionar la pintura y repintar donde sea necesario | 12 |

erse después de la expiración de uno de los límites -horas de operación o tiempo transcurrido - el que suceda antes.

Para un control más adecuado, los programas deben ser complementados con una tarjeta de control de servicio, con un número de identificación para cada máquina. Esta tarjeta debe mostrar el tipo del equipo, la fecha en que fue adquirido, su localización en la fábrica, el tipo de motor eléctrico que usa, su número de serie, accesorios, orden de compra, etc. También debe mostrar los requerimientos de mantenimiento, en particular la frecuencia de lubricación y clase de lubricante. La tarjeta debe contar con espacio suficiente para registrar todo trabajo de mantenimiento y reparación hecho a la máquina. Este control puede servir eventualmente para hacer un análisis que muestre cómo se compara esta máquina con otras unidades similares. Las máquinas de reposición se pueden seleccionar más adecuadamente si se obtienen esos datos. Los registros de mantenimiento también ayudan en la contabilidad de costos.

Toda la información adicional con que se cuente respecto a una máquina deberá ser adjuntada a su programa de mantenimiento y a su registro. Esto incluye los detalles de montaje, los cuales muestran generalmente sus cimientos y apoyos, sus conexiones, sus controles y sus diagramas de lubricación. La información proveída por el fabricante, tal como boletines de repuestos, catálogos y manuales de operación también deberá ser adjuntada. Estos no deberán ser retirados del archivo a menos que alguien firme como responsable. También se puede incluir un inventario de las piezas de repuesto tales como engranajes, motores, bandas, las cuales estén disponibles para cada máquina en particular.

Todos los motores del mismo tipo requieren esencialmente las mismas operaciones de mantenimiento. En la mayoría de operaciones el principal trabajo a realizar es desarmar el motor y reemplazar piezas. Por esta razón es muy conveniente que se provean medios adecuados en la planta para manipular las piezas y que exista espacio para colocarlas mientras se hace el trabajo. La determinación del tipo de equipo necesario para este fin deberá hacerse con base en un estudio económico y en la clase de maquinaria con que se cuente.

Los procedimientos de mantenimiento pueden ser agrupados bajo cuatro títulos: limpieza, ajuste, reacondicionamiento, y reemplazo de piezas. La naturaleza y cantidad del equipo requerido para realizar estos procedimientos depende del sistema de herramientas adoptado con respecto a los dos últimos procedimientos. La adopción de dichas herramientas dependerá lógicamente de la magnitud y economía de la empresa. En una planta grande, el reacondicionamiento de las piezas desgastadas en la planta misma generalmente ahorrará tiempo y gastos. En este caso se requerirá un cierto número de máquinas-herramientas y calibradores de precisión, así como de personal calificado. En las plantas pequeñas es más económico usar piezas de repuesto en existencia y enviar las piezas desgastadas para su reacondicionamiento a los talleres especializados en éste tipo de trabajo.

El mantenimiento y la seguridad están muy relacionados. Los accidentes son causados por mala operación y fallas de la maquinaria. El mantenimiento bien ejecutado debe prevenir estos accidentes. La mejor forma de hacerlo es instruir a las per-

sonas que manejen el equipo. El departamento de mantenimiento deberá incluir, entre sus inspecciones, la de los dispositivos de parada automática de seguridad en algunas máquinas.

Algunas instituciones de asistencia social han elaborado carteles que muestran las precauciones de seguridad que deben observarse en diferentes industrias y es aconsejable colocar los avisos pertinentes cerca de cada pieza de equipo. El operador, al ver constantemente estos avisos, es ayudado a recordarlos y cumplirlos cuando sea necesario. Constituyen una ayuda efectiva para mantener la eficiencia de la planta y al mismo tiempo evitar pérdidas humanas y económicas.

Una planta mantenida limpia y ordenada tiene un importante efecto psicológico en la actitud de las personas que trabajan en ella. Los induce a mantener los motores limpios, bien ajustados y funcionando debidamente. En pocas palabras, el dinero gastado en el mantenimiento de la planta es bien invertido y produce múltiples ventajas.

deberá instalarse en el departamento de mantenimiento. En sus inspecciones, la de las distribuciones de energía eléctrica de algunas máquinas.

Algunas instituciones de asistencia social han elaborado cartas que describen los procedimientos de seguridad que deben observarse en diferentes trabajos y en otros se debe colocar los avisos pertinentes cerca de cada pieza de equipo. El operador al ver constantemente estos avisos, es ayudado a recordarlos y cumplirlos cuando sea necesario. Contribuyen una ayuda efectiva para mantener la eficiencia de la planta y al mismo tiempo evitar pérdidas humanas y económicas.

Una planta mantenida limpia y ordenada tiene un importante efecto psicológico en la actitud de las personas que trabajan en ella. Los índices de accidentes en las plantas bien mantenidas y funcionando debidamente, son pocos porque el dinero gastado en el mantenimiento de la planta es bien invertido y produce múltiples ventajas.

EL USO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

El término "Ensayos No Destructivos" se usa como un nombre general dado a todos los métodos de prueba que permiten la inspección o comprobación de un material sin perjudicar su utilidad futura. Desde un punto de vista industrial, el propósito de los ensayos no destructivos es determinar si un material o pieza realizará satisfactoriamente su función propuesta. El propósito principal de una inspección no destructiva es determinar el estado o calidad existente de un material con miras a su aceptación o rechazo. Por medio de los métodos y técnicas de los Ensayos no Destructivos ha sido posible disminuir el factor de ignorancia acerca de un material y aumenta el factor de seguridad del producto acabado. No existe el material industrial absoluto y perfecto. Cualquier prueba no destructiva correctamente aplicada solo puede decir si la perfección relativa de una muestra está dentro de las tolerancias especificadas.

Hoy día sabemos que los metales se fatigan al someterlos a cargas cíclicas y esfuerzos fluctuantes y que los efectos del óxido, la corrosión, las cargas de viento y las vibraciones pueden hacer que se desintegren las estructuras más estables. Las grietas, poros y otros defectos que salen a la superficie frecuentemente dan lugar a que las piezas cedan o se rompan, fallando en servicio. Algunas veces estos defectos son tan pequeños que es difícil o imposible apreciarlos a simple vista, aunque se examine la pieza muy de cerca. No obstante, cuando la pieza se rompe, seguramente se debe a que el contratiempo empezó con una pequeña grieta que nadie tomó en cuenta. La razón de esto es que prácticamente todas las máquinas están sujetas a variaciones en las cargas aplicadas, causando fluctuaciones de esfuerzos en las piezas. Si los esfuerzos fluctuantes son de una magnitud suficiente, aún cuando el esfuerzo máximo aplicado sea considerablemente menor que la resistencia estática del material, puede ocurrir la falla cuando el esfuerzo es repetido un suficiente número de veces. Una falla inducida en esta forma es llamada "falla por fatiga".

Los metales comerciales están compuestos de agregados de pequeños cristales orientados al azar. Algunos cristales en una pieza de metal sometida a esfuerzo alcanzan su límite de acción elástica antes que otros debido a su orientación particular, la cual permite que ocurra deslizamiento. Además, la distribución de esfuerzos entre dos cristales dentro de una pieza de metal sometida a esfuerzo es probablemente variable y cuando una pieza es sometida a una variación cíclica de esfuerzo, las partes constituyentes tienden a moverse algunas con respecto a otras hasta que finalmente se debilita algún elemento a tal grado que se rompe. En la zona de la falla se desarrolla una concentración de esfuerzos y con las repeticiones sucesivas de esfuerzo, la fractura se disemina desde este núcleo a lo largo de toda la sección. Un alto esfuerzo localizado se desarrolla también en los cambios abruptos de sección transversal, en la base de las rayaduras superficiales, en el borde de pequeñas inclusiones de sustancias extrañas y en una pequeña ampolla u otro defecto interno similar. Estas son condiciones típicas que acentúan la susceptibilidad a la falla por fatiga.

En algunos casos, principalmente en las máquinas de alta velocidad y en las piezas sujetas a fuertes vibraciones, pueden ocurrir fluctuaciones apreciables de esfuerzo, llegando a los miles de millones de repeticiones durante la vida útil de la máquina.

En una industria, si la pieza que falla está en una máquina, puede dar lugar a un paro costoso hasta que se reemplaza con otra. Esto frecuentemente ocasiona muchas pérdidas. O puede soltarse la pieza en el interior de la máquina causando grandes averías; por ejemplo, si se rompe una biela o un pistón, ésto puede arruinar un motor Diesel o de gasolina. Igualmente, las grietas en los bastidores o ejes del equipo pesado, en las grúas y ganchos de grúas, en las máquinas herramientas y muchos otros artículos de uso común, pueden hacerlos fallar. Esto puede resultar en la destrucción de bienes y en lesiones a las personas.

Se ha comprobado que una de las formas más seguras de impedir o reducir al mínimo la probabilidad de tales fallas y accidentes, es inspeccionar las piezas para hallar las grietas como parte integrante de un programa de mantenimiento. En muchos casos, cuando se hallan grietas, la pieza puede ser reparada esmerilando o soldando. Luego puede ponerse en servicio la pieza en tan buen estado como si fuera nueva, e en algunos casos con menos costo que si se comprara una nueva para reemplazarla. En todo caso, el hallazgo de grietas y otros defectos en las piezas y materiales es mucho más económico y seguro que esperar a que se rompa la pieza.

Ahora las técnicas de los Ensayos No Destructivos permiten inspeccionar el interior de una viga de un puente, una soldadura de un recipiente a presión o un álabe de una turbina y descubrir el más ligero defecto - a veces el más leve indicio de desgaste o un esfuerzo anormal - mucho antes de que se convierta en un peligro grave. Estas técnicas incluyen el uso de rayos X, ultrasonidos, tintes penetrantes, campos magnéticos y, últimamente, la holografía con rayos laser. Estas son indispensables en las industrias debido a que todos los materiales tienen defectos. Los ensayos no destructivos representan métodos por medio de los cuales una pieza puede ser examinada para conocer sus propiedades y con una seguridad razonable de que cualesquiera defectos de consecuencia serán descubiertos.

De acuerdo con la forma de energía utilizada o con la propiedad de los materiales a inspeccionar, los métodos de prueba pueden ser divididos en diez grupos como sigue:

- 1) Acústico (Sónico y Ultrasónico)
- 2) Eléctrico y Electrostático
- 3) Inducción Electromagnética
- 4) Magnético
- 5) Líquidos Penetrantes
- 6) Presión y Filtración
- 7) Radiografía (Rayos X y Rayos Gamma)
- 8) Térmico
- 9) Visual
- 10) Misceláneos

En el método visual, la muestra a probar es iluminada con luz común en la región visible del espectro electromagnético. El espécimen es entonces examinado visualmente con ayudas ópticas o con dispositivos sensibles a la luz tales como la fotocelda. Las pruebas de presión y filtración se caracterizan por el flujo de un líquido o un gas a través de los defectos. Las pruebas penetrantes sólo pueden ser utilizadas para hallar defectos abiertos a la superficie de la muestra. Un líquido de baja viscosidad y tensión superficial entra a los defectos por acción capilar y es luego removido parcialmente del defecto por la acción de un revelador. En las pruebas térmicas el espécimen de prueba es calentado y la distribución resultante de temperaturas es revelada mediante químicos sensibles al calor, fósforos, termopares, termómetros de varios tipos y celdas sensibles al infrarrojo.

En la radiografía mediante rayos X y rayos Gamma se usa la radiación para tomar fotografías internas de objetos en película permanente o en una pantalla fluorescente. Las variaciones en espesor y densidad modifican el paso de la radiación a través de la muestra. Esta variación en la intensidad de la radiación transmitida puede ser detectada en varias formas, usando película fotográfica, semiconductores o fotoconductores. En la utilización de la radiografía industrial debe prestarse especial atención a la protección del personal. En el método acústico sónico, también llamado dinámico, se usa la técnica de juzgar el sonido emitido por vibraciones debidas a un golpe seco en un objeto duro, para detectar rajaduras en el mismo. Este método puede dar lugar a errores porque el instrumento que se use para golpear la pieza puede estar a su vez agrietado. La frecuencia de las vibraciones usadas en el método dinámico está en el campo audible de 16 a 20,000 ciclos por segundo. La otra técnica acústica, la ultrasónica, emplea energía acústica superior a la del campo audible. En éste método se transmiten ondas sonoras producidas electrónicamente a una frecuencia mayor que la del campo audible, a través de líquidos y metales y a una velocidad igual que la del sonido. Las ondas rebotan para ser proyectadas en un osciloscopio. Los defectos tales como grietas, bolsos de aire y juntas defectuosas desvían las ondas y aparecen como picos en un gráfico. En las pruebas magnéticas del espécimen, el cual debe ser ferromagnético, es magnetizado y los defectos producirán una distorsión del campo magnético en sus alrededores. Esta distorsión puede ser detectada en varias formas, la más usada de las cuales es la de "partículas magnéticas" tales como el óxido de hierro. Los métodos eléctricos de ensayos no destructivos dependen principalmente de las diferencias en resistividad eléctrica. En el método electrostático, las variaciones en el campo magnético son detectadas mediante el uso de partículas cargadas. Cuando una bobina que porta una corriente alterna de alta frecuencia es acercada a un conductor, se inducen corrientes parásitas en el conductor, con las cuales se encuentra asociado un campo magnético. Las grietas así como las variaciones físicas, químicas y otras de carácter estructural, ocasionan cambios en la resistividad del espécimen y afectan las corrientes parásitas inducidas y consecuentemente al campo magnético inducido. Estas variaciones en el campo magnético pueden ser detectadas por efecto sobre la bobina que induce las corrientes o por medio de una bobina auxiliar en las cercanías del espécimen.

Las partes esenciales de cualquier ensayo no destructivo son (1) aplicación de un medio de prueba o inspección, 2) modificación del medio de prueba o inspección por parte de los defectos o variaciones en la estructura o propiedades del material, 3) de-

tección de este cambio por medio de un detector adecuado, 4) conversión de este cambio a una forma adecuada para su interpretación y 5) interpretación de la información obtenida. La interpretación es el punto más importante en el proceso. La mayoría de los resultados obtenidos con los ensayos no destructivos son medidas indirectas. Por ejemplo, estas incluyen deflexiones o lecturas en un medidor, desviaciones en el trazo de un registrador, áreas oscuras y claras en una película de rayos X, la aparición de una cresta o un cambio en el patrón en una pantalla de osciloscopio, o el cambio de color de una sustancia química. La persona que interpreta los resultados a veces determina el éxito o fracaso de un método o técnica de prueba.

Aunque la mayoría de las pruebas son sencillas, la selección del método, las técnicas usadas y la interpretación de los resultados requieren habilidad y experiencia. Los métodos o técnicas de prueba incorrectos llevarán al esfuerzo perdido, al rechazo de un material tal vez aceptable o a la aceptación de material defectuoso y al rechazo del método de prueba o tal vez de todo el campo de los ensayos no destructivos. Una prueba mal aplicada es peor que la ausencia total de pruebas porque puede dar una falsa sensación de seguridad. En lugar de reducir el factor de ignorancia, este ha sido aumentado y el factor de seguridad ha sido disminuido. El solo hecho de adquirir los instrumentos o equipo necesario para realizar un ensayo no es suficiente; estos deben ser aplicados correctamente.

Las cinco partes esenciales de una prueba no destructiva que se han mencionado antes, serán analizadas en el siguiente ejemplo que se refiere al caso de la radiografía de rayos X y película fotográfica: (1) los rayos X son el medio de prueba o inspección, (2) cualesquiera defectos en el material que está siendo radiografiado modificarán la intensidad de la radiación que alcanza a la película en el lado opuesto del espécimen, (3) ciertas emulsiones de bromuro de plata son sensibles a los rayos X y pueden ser usadas como un detector, (4) las emulsiones son capaces de registrar variaciones en la intensidad de los rayos X y mediante los procedimientos adecuados de revelado pueden utilizarse para proporcionar una impresión permanente y (5) la interpretación es luego un proceso de explicar las variaciones en la densidad de la radiografía.

Beneficios en los Ensayos No destructivos

La contribución que los ensayos no destructivos pueden hacer a la industria puede ser dividida en cuatro categorías: aumento de productividad, aumento de utilidad del equipo, seguridad e identificación de los materiales. Los beneficios que pueden derivarse de los ensayos no destructivos incluyen los siguientes:

1. Mayor productividad y ganancias
 - a. Evitando el desperdicio de material; menos desechos; mejor uso de la materia prima.
 - b. Evitando el desperdicio de potencial humano; menor necesidad de rec_ tificaciones.
 - c. Evitando el desperdicio de tiempo en el taller, el cual nunca puede ser recuperado.

- d. Evitando la divergencia de las normas de calidad; mejor nivel de calidad y mejor uniformidad de la calidad; satisfacción del consumidor.
- e. Menores costos de servicio.
- f. Mejoramiento y control del proceso. Vigilar los procesos de manufactura, señalarla causa del problema y hallar el remedio.
- g. Menores costos de operación y producción.
- h. Recuperación de material; algún material defectuoso puede ser utilizable.
- i. Sirviendo de guía en el diseño de ingeniería.
- j. Conocimiento de la naturaleza y localización de las anomalías.
- k. Utilización más eficiente del equipo.
- l. Localizar el material más aceptable y el no aceptable.
- m. Procesamiento adecuado.

2. Mayor utilidad del equipo

- a. Localizando las regiones de mayor esfuerzo mecánico.
- b. Localizando las fallas por fatiga.
- c. Evitando el mal funcionamiento del equipo importante.
- d. Eliminando las fallas en el equipo.
- e. Disminuyendo los costos de servicio y operación.

3. Seguridad

- a. Previendo accidentes.
- b. Previendo pérdidas de vidas.
- c. Previendo pérdidas de materiales.

4. Identificación

- a. Clasificando.
- b. Señalando diferencias en composición química.
- c. Señalando diferencias en tratamiento térmico.
- d. Señalando diferencias en propiedades físicas.
- e. Señalando diferencias en propiedades metalúrgicas.

Mediante la detección del material defectuoso y la prevención de pérdidas de material, potencial humano y tiempo en el taller, los ensayos no destructivos aumentarán la productividad y con ella se obtendrán mayores ganancias económicas. Los ensayos no destructivos pueden ser usados como una ayuda en las técnicas nuevas de procesamiento y manufactura. El mantenimiento preventivo dirá si las piezas están aún satisfactorias para usarlas; es provechoso en la producción confiable y previsible menos reparaciones, menos accidentes y menores costos totales de operación. Por medio de la aplicación de los métodos y técnicas de los ensayos no destructivos se logrará una mayor utilidad del equipo y de los materiales, al localizar los defectos que podrían causar un mal funcionamiento o una falla del equipo. En el aspecto de la seguridad, el uso apropiado de los ensayos no destructivos ayudará en la prevención de acciden-

tes, con la consiguiente pérdida de vidas, propiedades y equipo importante. La identificación de materiales con diferencias en sus propiedades metalúrgicas, físicas o químicas puede lograrse mediante el uso de los métodos de prueba no destructivos. La correlación de varios tipos de defectos y su efecto en la utilidad de servicio de una pieza o componente aún no ha sido investigada tan exhaustivamente como se debiera hacer. Debe tenerse en cuenta que los ensayos no destructivos no sirven para medir directamente las propiedades mecánicas.

El tipo de defectos que los ensayos no destructivos están destinados a hallar puede ser clasificado en tres grupos:

1. Defectos inherentes - introducidos durante la producción inicial del material.
2. Defectos de procesamiento - introducidos durante el procesamiento del material o pieza.
3. Defectos de servicio - introducidos durante el ciclo de operación del material o pieza.

Algunos de los tipos de defectos o variaciones estructurales que pueden existir en estos tres grupos son: grietas, superficiales y subsuperficiales; porosidad; roturas; defectos de maquinado, laminado y galvanización; laminaciones; falta de unión; inclusiones; segregación; falta de penetración en las soldaduras; defectos por fatiga; rebordes; sopladuras; contracción por escoria; escamas; picaduras y pliegues. También pueden existir variaciones en el tamaño del grano, diferencias en el tratamiento térmico y variaciones en la composición química.

Debe tenerse en cuenta que todos los materiales comerciales no están perfectamente libres de ciertos defectos comunes o no son homogéneos aún bajo las mejores condiciones de manufactura. El grado de pureza y la ausencia de defectos superficiales y subsuperficiales son solo relativos, debido al hecho de que los procesos modernos de reducción a metal a partir de los minerales y los tratamientos mecánico y térmico no son perfectos. La calidad del material requerido depende de la aplicación; por ejemplo, es obvio que la calidad del acero para herramientas o para piezas de maquinaria de alta velocidad debe ser mayor que la del acero estructural. El conocimiento exacto de las condiciones reales de servicio debe ser siempre una guía para determinar la calidad del material requerido o seleccionado. Las normas de la ASTM y de la ASA determinan las desviaciones permisibles de lo normal para varias aplicaciones.

Los procedimientos no destructivos de inspección o ensayos de mayor utilización son:

1. La inspección mediante líquidos penetrantes.
2. El examen radiográfico.
3. La inspección por medio de partículas magnéticas.
4. La inspección por ultrasonidos.

A continuación se describen éstos más detalladamente, en especial el de los li-

quidos penetrantes, por ser de aplicación rápida y los más usados en nuestro medio debido a su economía. En el laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería existen equipos de los cuatro tipos de ensayos mencionados. El método de presión y filtración es descrito debido a que es muy usado para probar recipientes a presión.

Pruebas de Presión y Filtración

En las pruebas de presión y filtración los defectos son revelados mediante el flujo de un gas o líquido hacia los defectos o a través de ellos. La prueba más sencilla y más comúnmente usada de este tipo es la prueba hidrostática. En esta prueba la presión dentro del objeto que se va a probar se hace mayor que la presión externa. Un ejemplo común es la técnica usada en las gasolineras para hallar escapes de aire en los tubos de llanta. En esta prueba el tubo es llenado con aire a una presión mayor que la atmosférica y las fugas son localizadas por inmersión en agua con formación de burbujas. Agua, aceite, o aire u otros gases pueden ser usados para obtener la presión requerida. Debido a que la fuerza expansiva de un gas comprimido es bastante grande el uso de aire u otro gas debe evitarse excepto bajo circunstancias especiales, ya que siempre existe la posibilidad de una falla durante la prueba. Para algunas pruebas hidrostáticas se usa agua pura o agua conteniendo algún tinte, en cuyo caso la temperatura del agua no debe ser menor que la de la atmósfera circundante; de otro modo resultará la condensación del vapor de agua del aire sobre la superficie exterior del recipiente, la cual, especialmente en el caso de superficies bien acabadas, hará difícil el examen y puede hacer confusos los defectos. La presión hidrostática deberá ser aplicada gradualmente. Las presiones a usarse están estipuladas frecuentemente en los códigos o en las especificaciones del fabricante. La prueba hidrostática es requerida frecuentemente en los recipientes a presión, tuberías, o en las válvulas y secciones de accesorios que pueden ser sellados en sus extremos abiertos. Tales recipientes son sometidos a una presión de agua de una y media a dos veces la presión de trabajo. Las reglas para probar hidrostáticamente los Recipientes a Presión en Ausencia de Fuego están dadas en el código de la ASME (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos) para Calderas y Recipientes a Presión - ASME Boiler and Pressure Vessel Code - y las necesarias para tuberías a presión están dadas en el Código de la ASA - American Standard Code for Pressure Piping. En los recipientes soldados se usa aire a presión y las fugas son observadas mediante soluciones jabonosas aplicadas al exterior de la soldadura. Las pruebas con indicadores químicos se basan en detectar, por medio de soluciones o gases sensitivos, el escape de gases introducidos dentro del recipiente.

Inspección con Líquidos Penetrantes

Todos los procesos de líquidos penetrantes son métodos de prueba no destructivos para detectar discontinuidades que alcanzan la superficie de los materiales sin poros. Son útiles no solo en la inspección de metales ferrosos sino que también son especialmente útiles con productos metálicos no ferrosos y en materiales no metálicos sin poros tales como los cerámicos, los plásticos y el vidrio, debido a que los métodos de partículas magnéticas no son aplicables. Las discontinuidades superficiales tales como grietas, rebordes, pliegues, laminaciones o falta de unión son indicadas por estos métodos. Son aplicables en las inspecciones realizadas durante el proceso, después del acabado

y durante el mantenimiento. El uso de los penetrantes puede ser considerado como una extensión de la inspección visual. Los penetrantes, sin embargo, delinean una discontinuidad a un grado mucho más apreciable, haciendo que la inspección sea mucho menos dependiente del elemento humano. Esto hace que el método sea más adaptable a la comprobación durante la producción al aumentar la confiabilidad general y rapidez de la inspección. La inspección con líquidos penetrantes tiene la ventaja de ser una prueba rápida, fácilmente aplicada, relativamente barata y confiable. La limitación principal y desventaja de la inspección con penetrantes es que solo los defectos que alcanzan la superficie son revelados. Todos los defectos hallados con el uso de penetrantes dan solo una indicación aproximada de la profundidad de la falla. Algunos inspectores pueden, después de considerable experiencia, hacer estimaciones dignas de confianza sobre la profundidad y magnitud de los defectos.

Los líquidos usados entran en las aberturas pequeñas tales como las grietas o porosidades por acción capilar. La rapidez y extensión de esta acción dependen de propiedades tales como la tensión superficial, la cohesión, la adhesión, y la viscosidad. También son influenciadas por factores tales como la condición de la superficie del material y el interior de la discontinuidad. Para que el líquido penetre efectivamente, la superficie del material debe estar completamente limpia de toda substancia que pueda obstruir la entrada del líquido en el defecto. Los contaminantes espesos, tales como el carbón de los motores, en las grietas pueden hacer más difícil la penetración y más débiles las indicaciones. Después de limpiar, el penetrante líquido es aplicado uniformemente sobre la superficie y se le permite permanecer suficiente tiempo para permitir su penetración en las posibles discontinuidades. El líquido es entonces removido completamente de la superficie y se aplica un revelador húmedo o seco. El líquido que ha penetrado en las discontinuidades saldrá entonces a la superficie por la acción absorbente del revelador y éste ayudará a delinearlas. Esto mostrará la localización, naturaleza general y magnitud de cualesquiera discontinuidades que estén presentes. Para apresurar esta acción, la pieza puede ser golpeada seca y suavemente para producir vibraciones que obliguen al líquido a salir del defecto.

La Técnica de Aceite y Carbonato de Cal

Esta es la prueba más antigua y sencilla, pero al mismo tiempo tosca, realizada a base de un penetrante. En este método la pieza es cubierta con un aceite penetrante tal como la kerosina. Después de permitir el tiempo suficiente para que el aceite penetre cualquier defecto superficial, el aceite sobrante es removido completamente y la superficie es secada. Luego es aplicada una capa delgada de carbonato de calcio como blanqueador, ya sea en forma de polvo seco o mezclado con alcohol. Cuando se cae, el blanqueador tiene casi el mismo índice de refracción que el aceite. Después de un momento, el aceite se escurre fuera de los defectos hacia el blanqueador por la acción absorbente del mismo, ocasionando una reducción apreciable en blancura que produce líneas decoloradas perfectamente visibles delineando las grietas. A veces se usa aceite caliente debido a su menor tensión superficial y viscosidad. Además, el calor hace que una grieta se ensanche ligeramente. Según investigadores alemanes, sus estudios indican que esta técnica está limitada a grietas de más de 0.02 mm de ancho y es menos sensitiva que las de los penetrantes que se pueden obtener comercialmente.

Clases de Penetrantes Comerciales

Los penetrantes pueden ser divididos en dos tipos: Tintes Penetrantes y Penetrantes Fluorescentes. En el caso de los Tintes Penetrantes, un tinte está **disuelto** en el penetrante líquido. El color del tinte es seleccionado para dar un alto contraste de colores entre el revelador y el penetrante. En los penetrantes Fluorescentes, se ha disuelto un material fluorescente en el penetrante. Todos los productos del petróleo fluorescen hasta cierto grado, de tal manera que los penetrantes fluorescentes tienen una base de aceites y luego se agrega un aditivo fluorescente para aumentar esa propiedad en el penetrante. Los penetrantes fluorescentes deben ser vistos bajo luz "negra" o casi ultravioleta, de aproximadamente 3,650 Å de longitud de onda (Unidades Angstrom iguales a 10^{-8} cm.). El fabricante proporciona siempre la fuente adecuada de luz.

En el caso de los Penetrantes Fluorescentes, la indicación es aún más positiva ya que se manifiesta como una señal resplandeciente aún cuando se trate de defectos tales como los contaminados con aceite o grasa, los cuales pasarían desapercibidos con cualquier otro penetrante. Con el penetrante de postemulsificación, en el cual el emulsificante ha sido separado del penetrante, éste ha sido diseñado para poseer una pura habilidad penetrante y su penetración es entonces más rápida y efectiva, marcando claramente sobre la pieza misma los defectos del tipo de grieta que son difíciles o imposibles de hallar por cualquier otro medio. Este penetrante fue desarrollado hace relativamente pocos años, para satisfacer la alta sensibilidad requerida en la inspección de motores a reacción. Con la luz negra adecuada y este penetrante extremadamente brillante, los defectos resplandecen notoriamente en los locales **con iluminación normal**. En la mayoría de los casos no se necesita semioscuridad, aunque ésta es preferible.

EJEMPLO DE DOS PENETRANTES LIQUIDOS COMERCIALES

| Nombre | Penetrante X | Penetrante Y |
|------------------------|--|--|
| Tipo de Penetrante | Tinte Rojo Líquido | Líquido Fluorescente (amarillo bajo luz negra) |
| Aplicado con | Lata Rociadora | Inmersión, brocha o atomizador. |
| Gama de Temperaturas | Sobre 60° F | Sobre 60° F |
| Removido por Revelador | Limpiador No. 1 Suspensión de polvo blanco en líquido volátil | Agua Polvo o Líquido |
| Indicación Visible por | Luz Blanca | Luz casi ultravioleta o "negra". |
| Utilés Auxiliares | Ninguno | Fuentes de Agua y Energía Eléctrica |

La técnica usada en la inspección con penetrantes es esencialmente la misma en todos los casos. Los pasos básicos en su aplicación son:

1. Limpiar la superficie del espécimen.
2. Aplicar el penetrante.
3. Remover el penetrante sobrante.
4. Aplicar el revelador.
5. Inspección e interpretación.

Con el tipo de penetrante de postemulsificación se requiere un paso adicional en el procedimiento. Como el penetrante mismo no es lavable con agua, debe agregarse un emulsificador al penetrante después de que ha sido aplicado al espécimen. La adición de un emulsificante en solución con el penetrante hace que éste sea menos efectivo. El agua es un penetrante bastante malo por su alta tensión superficial y alta viscosidad comparadas con las de los penetrantes usados.

Limpieza de la Superficie

Es absolutamente esencial que la superficie del espécimen este libre de suciedad, hilaza, cera, pintura, grasa, incrustaciones o cualquier otro material que llene o estorbe las aberturas superficiales. El penetrante retenido por la suciedad u otro material sobre la superficie también puede dar indicaciones falsas. Para preparar adecuadamente la superficie se pueden usar solventes líquidos, aspersion de vapor o desengrase a vapor. Los proveedores de penetrantes comerciales suministran a menudo un solvente adecuado. Por ejemplo, uno de ellos viene en juegos que contienen el limpiador No. 1, el cual sirve como prelimpiador antes de la prueba y también para remover el penetrante, el penetrante marcado con el número 2 y el revelador con el número 3. La aspersion de arena no es recomendada para limpiar la superficie, ya que tiende a cerrar las pequeñas aberturas superficiales. Las costras e incrustaciones son removidas más eficientemente con aspersion de vapor, la cual no cubre los defectos existentes. El bruñido y ciertas otras operaciones de acabado superficial tienden a cubrir las fallas, por lo que tales operaciones no deben ser realizadas antes de que el metal sea inspeccionado. El tratamiento superficial que implica el uso de una fuerte solución ácida o cáustica tiende a reducir las características fluorescentes de los penetrantes que tienen esta propiedad. Tal tratamiento deberá ser pospuesto hasta después de que la inspección haya sido hecha si se va a utilizar un penetrante fluorescente.

Aplicación del Penetrante

El penetrante es aplicado a la superficie del objeto por inmersión, con brocha o atomizado. El último método dá indudablemente la capa más uniforme. Las cualidades requeridas en un penetrante son: baja tensión superficial, alta capilaridad y baja viscosidad. Debido a la baja tensión superficial, el penetrante es llevado rápidamente a las pequeñas aberturas superficiales por acción capilar. Si la superficie del espécimen está caliente cuando se aplica el penetrante, se obtendrán mejores resultados debido a que las aberturas superficiales estarán algo ensanchadas y serán más fácilmente penetradas. La rapidez de penetración también puede ser aumentada elevando la tem

peratura del penetrante. Sin embargo, algunos proveedores no recomiendan calentar su producto debido al punto de destello (flash point) relativamente bajo del penetrante. Cada fabricante de penetrantes comerciales recomienda la temperatura más adecuada para su producto. Los especímenes a comprobar son a veces calentados y luego sumergidos en el penetrante que se encuentra más frío. La disminución de temperatura ocasiona un área de baja presión en el defecto, la cual puede ayudar a llevar al penetrante dentro del defecto. El penetrante es dejado sobre la superficie durante un período de tiempo que depende del material, tipo y tamaño del defecto y del penetrante utilizado. Para detectar fallas muy finas, el penetrante puede ser aplicado más de una vez a la misma superficie. El tiempo exacto de penetración solo puede ser determinado por experimentación sobre el espécimen particular que se va a inspeccionar. Variando el tiempo de penetración se puede determinar el tiempo óptimo para un tipo y tamaño particular de defecto. El fabricante proporciona tablas de tiempos típicos de penetración para diferentes materiales.

Remoción del Exceso de Penetrante

Todo vestigio de penetrante debe ser removido de la superficie del espécimen, usando agua corriente o un solvente recomendado o suministrado por el fabricante. La remoción del exceso de penetrante es una operación crítica. Demasiado lavado puede retirar el penetrante de los defectos y el lavado insuficiente dejará restos de penetrante sobre la superficie, el cual dará indicaciones falsas u ocultará las indicaciones reales. En algunos casos, la remoción del penetrante es lograda por la acción de un solvente ayudada con frotación. En las superficies lisas solo se necesita frotar, sin aplicación del limpiador que tiene el número 1 en la lata, para dar los resultados más sensitivos. La acción es tal que todo el penetrante es removido de la superficie de la pieza con una mínima remoción en todas las grietas u otros defectos abiertos. El limpiador es usado como solvente en las superficies semirugosas o rayadas. Las superficies rugosas tales como moldeados en arena, soldaduras, etc., pueden requerir la acción repetida del solvente limpiador.

Aplicación del Revelador

El revelador es generalmente un líquido evaporativo que porta un polvo finamente dividido, como el talco, el cual se seca para formar una delgada capa de polvo. Este es llamado revelador húmedo y su función principal es sacar al penetrante de los defectos hacia la superficie limpia de la pieza por acción absorbente y solvente, esparciéndolo sobre la superficie del objeto de prueba en una cierta área alrededor del defecto. Esto aumenta la indicación y hace posible localizar defectos muy pequeños por tratarse además de indicaciones de color brillante. También se usan polvos como revelador, los cuales son llamados reveladores secos, pero tienen la desventaja de aglomerarse en los contornos complejos. La otra función del revelador es proporcionar un fondo de color contrastante a la indicación del penetrante. La pieza debe ser rociada o cubierta con suficiente cantidad de revelador como para humedecerla con una capa delgada y uniforme. Una capa adecuada tendrá cuando seque una apariencia translúcida y delgada. Si se aplica mucho revelador se pueden ocultar los defectos y con poco la indicación no se desarrollará suficientemente. Para mayor facilidad de apli-

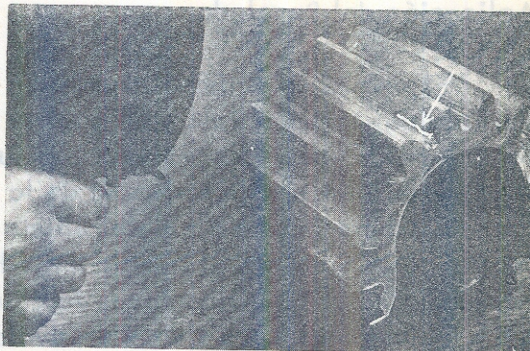
cación es mejor cubrir tramos cortos de 15 a 20 centímetros de largo a la vez. A medida que seca el revelador, las grietas grandes aparecerán pronto y las diminutas pueden tomar varios minutos para desarrollar la mejor indicación. La rapidez de escurrimiento hacia afuera del defecto también puede ser mejorada calentando la pieza. Se recomienda aire caliente para secar un revelador húmedo porque en esta forma el secado sirve al doble propósito de evaporar el solvente del revelador y de calentar el espécimen, lo cual ayuda a llevar al penetrante hacia la superficie.

Inspección e Interpretación

El tipo y espesor de la capa de revelador determinan el mínimo tamaño de defecto que será detectable. Si se ha usado una capa espesa de revelador, los defectos pequeños no serán mostrados ya que no hay suficiente penetrante para difundirse completamente a través de la capa. Si se usa un revelador seco, i. e., en polvo, se revelará aún la más pequeña y fina discontinuidad. El tipo de indicación depende del tipo de penetrante usado. Si se usa un penetrante fluorescente, los defectos aparecerán como puntos o líneas resplandecientes de color amarillo verdoso sobre un fondo oscuro. Con los tintes penetrantes, los defectos son indicados como puntos o líneas de color rojo brillante sobre el fondo blanco del revelador. La interpretación de los patrones característicos que indican los tipos de defectos es de gran importancia. Una grieta será indicada por una línea de penetrante. Puntos de penetrante indican caries o porosidad. Una serie de puntos indica una grieta estrecha o una saliente parcialmente soldada.



Señal producida por un tinte penetrante, la cual revela una grieta en una parte del bastidor de una prensa punzonadora.



Señal producida por un penetrante fluorescente, revelando una grieta en un engranaje.

Las instrucciones del fabricante deben ser seguidas cuidadosamente, incluyendo las precauciones concernientes a la utilización segura del penetrante particular. Algunos penetrantes son volátiles y otros tienen un bajo punto de destello (flash point). Los vapores que surgen del penetrante pueden ser tóxicos, así que se debe proveer ventilación adecuada continua para el personal de inspección. La base oleaginosa de los penetrantes puede causar irritaciones de la piel, por lo que las manos pueden ser protegidas usando guantes de Neopreno. El lavado con agua y jabón removerá el penetrante de la piel o la ropa. Los polvos reveladores secos generalmente no son tóxicos pero se deberá instruir al operador para que tome las precauciones necesarias para no inhalar el polvo. Las luces negras no son dañinas a los ojos o la piel, pero tales fuentes no deben ser usadas directamente ya que el líquido en el globo del ojo fluye con la acción de esta luz. Aunque esta acción no es dañina, el fluido producido por el líquido en el ojo da la sensación de que se ha formado una nube o empañamiento sobre el ojo.

Métodos Radiográficos

Los métodos radiográficos de prueba emplean rayos X o rayos gamma para revelar los defectos, la composición, el espesor o la estructura de los objetos y se utilizan principalmente en la inspección de fundiciones y productos soldados. Las longitudes de onda para los rayos X pueden variar desde menos de 0.001 de unidad Angstrom ($1\text{A} = 10^{-8}\text{cm}$) hasta unas 40 unidades Angstrom y las de los rayos gamma varían de unos 0.005 a 3 unidades Angstrom. Los rayos X y Gamma tienen características similares y debido a sus cortas longitudes de onda tienen la habilidad de penetrar en los materiales sólidos. Todos los átomos consisten de un núcleo rodeado por una cierta cantidad de espacio en el cual existe un cierto número de electrones. Ambos, los rayos X y los rayos gamma, son capaces de pasar a través de los espacios entre los átomos, pero si un rayo chocara con un electrón o con un núcleo, será dispersado o absorbido. Los rayos con longitudes de onda más cortas tienen menor probabilidad de chocar y por ello tienen mejor habilidad de penetración. Esta habilidad también depende de la densidad del material, debido a que un material más pesado como el acero tiene más electrones alrededor de los núcleos de sus átomos que los materiales más livianos como el aluminio.

La radiografía es realizada exponiendo la parte de la pieza en donde se sospecha que existen defectos, a un haz uniforme de estos rayos emitidos por una fuente adecuada. Atrás de la pieza, perpendicular a los rayos y tan cerca de ella como sea posible, se coloca una película fotográfica en una cubierta a prueba de luz. Durante la exposición, los rayos penetran más fácilmente a lo largo de las trayectorias en donde existe menos metal y así se produce una imagen de siluetas sobre la película, mostrando los espesores relativos del metal vistos en la dirección en que viajan los rayos. Un vacío o zona de masa reducida aparece como una imagen más oscura sobre la película debido a la menor absorción de energía y la resultante exposición adicional de la película.

Para mejores resultados la fuente de los rayos debe ser una fuente concentrada, colocada tan lejos del espécimen como sea posible. Aquí es necesario ceder algo de-

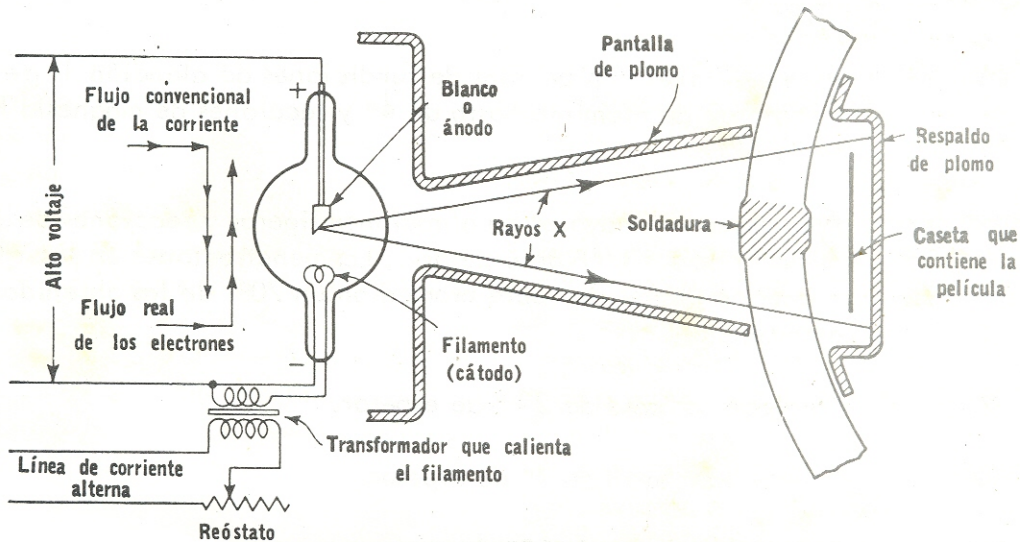
bido a que la intensidad de los rayos variará en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el foco y la película. Una distancia usada comúnmente es de alrededor de 90 cms. El tiempo correcto de exposición dependerá de la potencia de la fuente (intensidad inicial de los rayos), la distancia entre la fuente y la película, la densidad y espesor medio de la pieza y la rapidez de la película (depende del tipo de película y de las pantallas intensificadoras, si se usan). Las películas radiográficas varían en rapidez, contraste y tamaño del grano. Las películas lentas generalmente tienen menor tamaño de grano y producen más contraste, razón por la cual son usadas cuando se desea óptima nitidez y máximo contraste. Las películas rápidas son usadas cuando se va a radiografiar objetos con grandes diferencias de espesor o en donde se pueden sacrificar la nitidez y el contraste para acortar el tiempo de exposición. La exposición de una película radiográfica proviene de radiación directa y dispersa. La radiación directa es deseable, ya que es la que forma imágenes bien definidas; la radiación dispersa, la cual ocurre en el objeto que se radiografía y en los objetos adyacentes, producen imágenes indeseables y pérdida de contraste en la película. Esta radiación dispersa es de baja energía y para eliminarla se usan las pantallas intensificadoras, hechas de plomo de 0.005 ó 0.010 pulgadas de espesor, para radiografía con voltajes superiores a los 100 kv. Bajo la acción de los rayos X o rayos gamma con voltajes sobre los 88 kv, una pantalla de plomo también emite electrones, los cuales, cuando están en contacto íntimo con la película, producen un oscurecimiento adicional de la misma. El tiempo de exposición puede ser reducido usando pantallas intensificadoras arriba y abajo de la película.

Las películas después de la exposición son reveladas en una forma muy similar a cualquier otra película fotográfica. Las áreas de la película expuesta a la intensidad total de los rayos estarán negras, las áreas donde prácticamente no han penetrado rayos estarán blancas y las áreas a través de las cuales han penetrado algunos rayos tendrán tonos intermedios de gris entre el blanco y el negro, dependiendo de la intensidad con que hallan sido alcanzados. Esta intensidad es función de la densidad en las distintas zonas del material, ya que cuanto menor es ésta, mayor es la facilidad con que el objeto es atravesado por los rayos y mayor la intensidad de la radiación que incide sobre la placa fotográfica, por lo que en ésta aparecen unas regiones con un sombreado más pronunciado que otras. Las sopladuras y grietas dan lugar en la radiografía a zonas más oscuras que el resto, mientras que las inclusiones de material de número atómico mayor originan zonas claras.

Son cuatro los factores que determinan la mejor nitidez de una radiografía: (1) El tamaño efectivo de la fuente de radiación debe ser tan pequeño como sea posible, (2) La distancia de la fuente al objeto debe ser adecuada para una buena definición del área del objeto más alejado de la película, (3) La película deberá estar tan cerca del objeto como sea posible y (4) El área de interés deberá estar en el centro de los haces de rayos, perpendicular a ellos y paralela a la película. Se llama sensibilidad a la habilidad de ver los detalles y de detectar los cambios en el espesor del metal. Bajo control cuidadoso con los rayos X, se podrán apreciar cambios en el espesor de una sección hasta de $1/2$ ó 2% del espesor del material. Sin embargo, es mucho más fácil usar un límite de sensibilidad del 2%. Con los rayos gamma las sensibilidades obtenidas varían entre 2 y 5%.

Radiografía con Rayos X

Los rayos X de una variedad de longitudes de onda son generados al chocar electrones a gran velocidad contra un obstáculo dentro de un tubo al vacío. Cuando los electrones que viajan a gran velocidad son detenidos bruscamente por un cuerpo, parte de su energía cinética se transforma en energía de radiación, o rayos X. Un tubo de rayos X es un tubo de vidrio dentro del cual se ha producido un alto vacío y que contiene un ánodo, que es el blanco u obstáculo hacia el cual son dirigidos los electrones y un cátodo o filamento caliente. El cátodo es calentado primero hasta la incandescencia mediante una corriente eléctrica en el filamento y luego se aplica un alto voltaje entre el ánodo y el cátodo para impulsar un chorro de electrones del cátodo hacia el ánodo. Por esta razón se le llama generalmente tubo de rayos catódicos. Un disco de tungsteno empotrado en ángulo en la superficie del ánodo sirve como un obstáculo para detener los electrones, convertirlos en rayos X y dirigirlos fuera del tubo como un haz en forma de cono. Las pantallas para trabajos con rayos X son fluorescentes, brillando principalmente en la región azul del espectro, a la cual una emulsión fotográfica es altamente sensible.



Arreglo del equipo para radiografiar una junta soldada.

La longitud de onda de los rayos X depende de la velocidad de los electrones, la cual a su vez depende del valor del voltaje aplicado. La intensidad de la radiación es casi directamente proporcional a la corriente en el filamento, usualmente medida en miliamperios y el voltaje aplicado, medido en kilovoltios, determina la capacidad de penetración de los rayos. Cuando se aumenta el voltaje se producen longitudes de onda más cortas y rayos X más intensos. Con voltajes bajos se obtienen imá-

genes de mayor contraste y con un mayor voltaje se puede radiografiar un mayor campo de espesores. Las condiciones esenciales para que se generen los rayos X son: (1) un filamento que constituye la fuente productora de electrones, (2) un obstáculo, el ánodo, situado en la trayectoria de los electrones, (3) una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo que permita controlar la velocidad de los electrones que inciden en el ánodo y en esta forma regular la longitud de onda de los rayos X producidos y (4) un medio de regulación de la corriente del tubo para controlar el número de electrones que inciden sobre el obstáculo. El equipo de rayos X es evaluado por su campo de voltajes de operación, el cual determina sus aplicaciones, como lo muestra la siguiente tabla. Es necesario usar el voltaje apropiado para los varios metales y sus espesores para evitar que un número suficiente de rayos penetren completamente y reduzcan el contraste de la imagen.

Campos de Voltajes de Operación de Equipo de Rayos X y sus Aplicaciones

| Campo, Volts | Aplicación |
|------------------|---|
| 3,000 - 5,000 | Para secciones delgadas de aluminio y magnesio, plásticos, madera y otras sustancias de una absorción relativamente baja de rayos X. |
| 30,000 - 150,000 | Para secciones más pesadas de fundiciones de aleación ligera (secciones de aluminio hasta de 4" y secciones de magnesio hasta de 6"). |
| 60,000 - 250,000 | Para espesores mayores en aleaciones ligeras y secciones de acero hasta de 1 3/4" de espesor. Las penetraciones en las aleaciones con base de cobre promedian un 70% de las obtenidas en acero. |
| 400,000 | Para aceros hasta de 2 1/2" de espesor. |
| 1,000,000 | Para aceros hasta de 7" de espesor. |
| 2,000,000 | Para aceros hasta de 12" de espesor. |

Una pequeña pero útil variación de la técnica común con rayos X es la llamada Xerografía, la cual utiliza un tubo de rayos X convencional y no requiere equipo nuevo. Constituye en realidad una técnica avanzada en rayos X que emplea una placa seca reutilizable para registrar la imagen. Utiliza la electricidad estática, la cual acondiciona o distribuye un fino polvo sobre una placa de aluminio con revestimiento especial y produce una imagen similar a la obtenida en película convencional para rayos X. Al usar este proceso se puede obtener una imagen para ser observada en 45 segundos, mientras que la película requiere 1 hora para revelarla y secarla. Además se elimina la necesidad de un cuarto oscuro y si se desea una imagen permanente ésta

puede ser obtenida de la imagen en la placa mediante métodos fotográficos comunes.

Radiografía con Rayos Gamma

Los rayos gamma constituyen una radiación electromagnética de alta frecuencia, parecida a los rayos X, pero de menor longitud de onda y por ello más penetrantes que ellos. Con los alfa y beta, es una de las tres clases de radiación que emite el núcleo desintegrante de los elementos radioactivos naturales, tales como el radio y sus sales. Los rayos gamma comúnmente empleados son emitidos por sulfato de radio sellado en pequeñas cápsulas de plata y contenidas en un envase exterior de duraluminio para facilitar su manejo y como protección contra su pérdida. Para la radiografía industrial, generalmente se colocan de 100 a 300 mg en una unidad y la intensidad de la energía radiante varía en forma directamente proporcional a la cantidad usada. En años más recientes, los isótopos radioactivos artificiales producidos en los reactores nucleares, tales como el cobalto 60, el iridio 192, el tulio 170 y el cesio 137, son usados comúnmente para la radiografía industrial.

El radio y el cobalto 60 emiten rayos gamma con longitudes de onda relativamente cortas y por esa razón son adecuados para espesores de acero, de 1 a 6 pulgadas. El período de vida media para el radio es de 1,580 años, así que para cualquier propósito práctico su poder de radiación, o intensidad, es constante. Para el cobalto 60 el período de vida es de 5.3 años, pero esta desventaja es compensada por su costo relativamente bajo y porque puede ser hasta 10 veces más potente que un volumen igual de radio. Estas fuentes emiten los rayos gamma en todas direcciones, por lo que, cuando están en uso, son almacenados normalmente en envases de plomo. Una ventaja importante de los rayos gamma es el tamaño reducido de la fuente, lo que permite usarlos en lugares en donde es imposible usar los rayos X. Sus desventajas son que no se puede graduar la intensidad de la radiación según el espesor a radiografiar o el contraste deseado y por otra parte, que debido a su elevado costo las cantidades de radio usadas son muy pequeñas y los tiempos de exposición son mucho mayores que los requeridos con los rayos X.

Precauciones de Seguridad

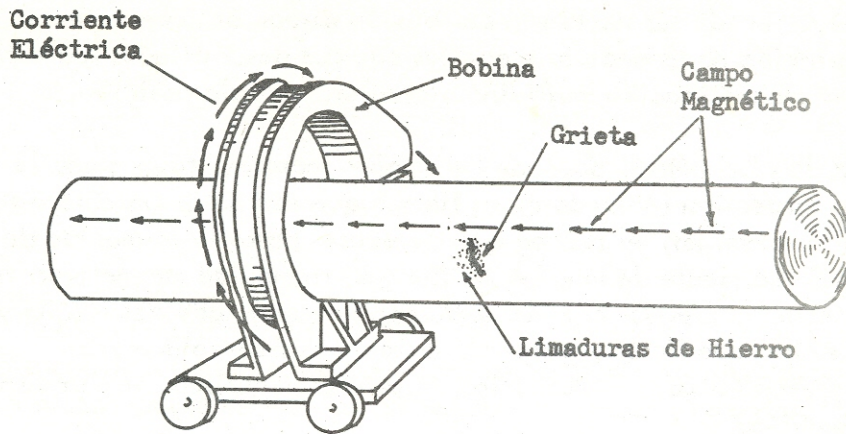
Se debe evitar que las radiaciones alcancen a los operadores interponiendo un escudo entre ellos y la fuente de radiación. El uso de láminas de plomo permite que un operador permanezca en el interior de un recipiente que está siendo radiografiado. El radio deberá ser manipulado con extremo cuidado para evitar lesiones a los operadores. Cuando no esté en uso deberá ser mantenido en un recipiente de plomo con un espesor mínimo de paredes de 6". Cuando se lo transporta, se puede usar una caja portátil de plomo de 2" de espesor de pared. Al retirar el recipiente de la caja de plomo nadie deberá estar a menos de 3.50 metros de él, a menos que esté escudado por metal. La exposición excesiva a la radiación puede causar una disminución en el número de glóbulos blancos de la sangre, la anemia y baja presión sanguínea, pero la exposición prolongada ocasionará quemaduras en la piel que pueden llegar a ser fatales. El exceso de exposición de una persona a los rayos gamma puede ser detectado mediante una pequeña porción de película llevada en la ropa, la cual deberá ser revelada a las dos semanas. Si muestra oscurecimiento, deberá proporcionársele protección a la persona.

Ensayos con Partículas Magnéticas

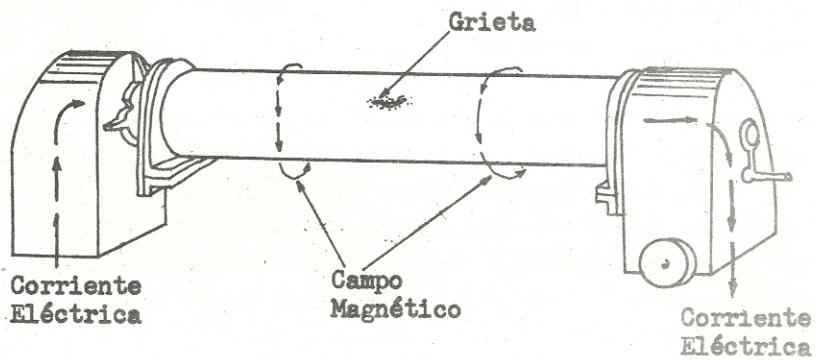
Este método, al igual que el de los líquidos penetrantes, tiende a suplementar a los métodos radiográficos y ultrasónicos, ya que éstos generalmente no pueden detectar pequeñas grietas superficiales, especialmente aquellas tan pequeñas que no pueden ser apreciadas a simple vista. En una pieza magnetizada de metal ferroso, si una grieta o hueco interrumpe un campo magnético, éste será distorsionado. En comparación con el hierro, la permeabilidad magnética del aire es tan baja que el flujo magnético se esparce hacia afuera para rodear al vacío. En esta forma, algunas de las líneas de flujo magnético se extenderán hacia afuera del metal, en el aire sobre el hueco o la grieta. Esta prueba es realizada magnetizando primero una parte de la pieza, de tal manera que el campo magnético sea, preferentemente, perpendicular a las grietas esparcidas.

Este procedimiento se utiliza para la detección de grietas, pliegues, láminas, costuras, inclusiones y defectos similares de los materiales ferromagnéticos, especialmente en el hierro y el acero. Mediante él se pueden detectar discontinuidades superficiales así como defectos subsuperficiales, es decir, aquellos defectos situados en el interior del material, pero muy próximos a la superficie. Por su misma naturaleza, este método no se puede emplear sobre materiales no magnéticos. El método se basa en el hecho de que toda discontinuidad superficial en un material imantado da lugar a la aparición de los correspondientes polos norte y sur en los bordes de la discontinuidad, los cuales atraen a las partículas magnéticas con las cuales se haya recubierto el material. En el caso de que las pequeñas discontinuidades sean subsuperficiales, la intensidad del campo magnético en las zonas de la superficie próxima a la falla aumenta ligeramente atrayendo a las partículas magnéticas, aunque la señal que se obtiene no es tan clara como en el caso anterior. Si la localización de la discontinuidad es muy profunda, la variación del campo magnético en el interior del material no altera el campo magnético superficial, por lo que no aparece ninguna señal. La magnetización de las piezas debe hacerse de tal manera que el campo magnético resultante sea perpendicular a la discontinuidad, para que la señal aparezca con la mayor nitidez posible.

Un método común de magnetizar es el de empalmar firmemente dos líneas a la superficie de la pieza y hacer pasar una corriente de amperaje suficientemente alto a través de la porción de pieza entre las dos líneas. El campo magnético obtenido rodeará a la trayectoria de la corriente eléctrica a través de la aleación ferrosa, en la misma forma en que un campo magnético rodea a cualquier conductor. El carácter y la dirección del campo magnético dependen de cómo se aplique la fuerza magnetizante y del tipo de corriente utilizada. Para mejor sensibilidad, la corriente magnetizante debe fluir en una dirección paralela a la dirección principal del defecto esperado. Los campos magnéticos circulares, contenidos completamente dentro del objeto de prueba, son producidos pasando corriente a través del objeto y los campos longitudinales son producidos con bobinas u horquillas, creando polos externos. Se puede usar corriente alterna, directa o directa de media onda. La corriente alterna magnetiza más fuertemente las capas superficiales, la corriente directa magnetiza más profundamente en el material y la corriente directa de media onda es más efectiva para localizar defectos subsuperficiales. Después de magnetizar, se aplican sobre la superficie a inspeccio-



Esquema del Procedimiento para Magnetización Longitudinal



Esquema del Procedimiento para Magnetización Circular

nar, finas partículas de material magnético, tal como el hierro, ya sea secas o suspendidas en un líquido. Parte de este polvo será atraído hacia las líneas de flujo magnético que se extienden hacia afuera en el aire sobre los huecos o grietas. La forma aproximada de la discontinuidad, puesta de manifiesto por la acumulación de partículas, se llama señal y corresponde a la proyección de dicha discontinuidad sobre la superficie. Así se puede detectar en las piezas, pequeñas grietas en las superficies o algo debajo de ellas. Como el campo magnético deberá estar preferentemente perpendicular a las grietas, puede ser necesario cambiar su dirección para detectar todas las grietas. Esta variación no es necesaria con los equipos desarrollados recientemente, los cuales proveen magnetización multidireccional en una sola posición.

La sensibilidad de este método depende de muchos factores, tales como la tensión superficial de la suspensión indicadora, el tiempo que estén en contacto esta suspensión y el material a examinar, el tiempo que transcurra hasta la formación de la señal, la intensidad de la corriente de magnetización y el tiempo de magnetización. Se prefieren los polvos secos coloreados cuando se buscan defectos subsuperficiales y cuando se prueban objetos con superficies rugosas como fundiciones y soldaduras. Las partículas húmedas son preferidas para la detección de grietas muy finas, tales como las debidas a fatiga o esmerilado.

Las piezas de máquinas que se inspeccionen por éste método deben desmagnetizarse antes de usarlas, porque de otra manera pueden atraer, ya en servicio, limaduras, partículas abrasivas, pequeñas virutas y en general partículas de acero que pueden rayar los cojinetes u otras partes de la máquina. Normalmente se comprueban las piezas antes de colocarlas, mediante el uso de una brújula en el banco de montaje.

Métodos Ultrasónicos

Estos métodos de prueba no destructivos emplean energía vibratoria mecánica de alta frecuencia para detectar y localizar discontinuidades o diferencias estructurales y para medir el espesor de varios materiales. Las frecuencias usadas varían de 0.1 MHz a 20 MHz. Las vibraciones sónicas y ultrasónicas son mejor transmitidas a través de los materiales sólidos, debido a que la velocidad característica del sonido en cada material es una función de su densidad y de su módulo de elasticidad; en realidad, las ondas iniciadas en una cara de los objetos sólidos son reflejadas de regreso cuando alcanzan cualquier espacio de aire dentro del material o al alcanzar la cara opuesta. El método de prueba para localizar defectos y medir espesores hace uso de ese fenómeno de terminando electrónicamente los tiempos relativos que las ondas ultrasónicas emplean en ser reflejadas del defecto y de la cara opuesta.

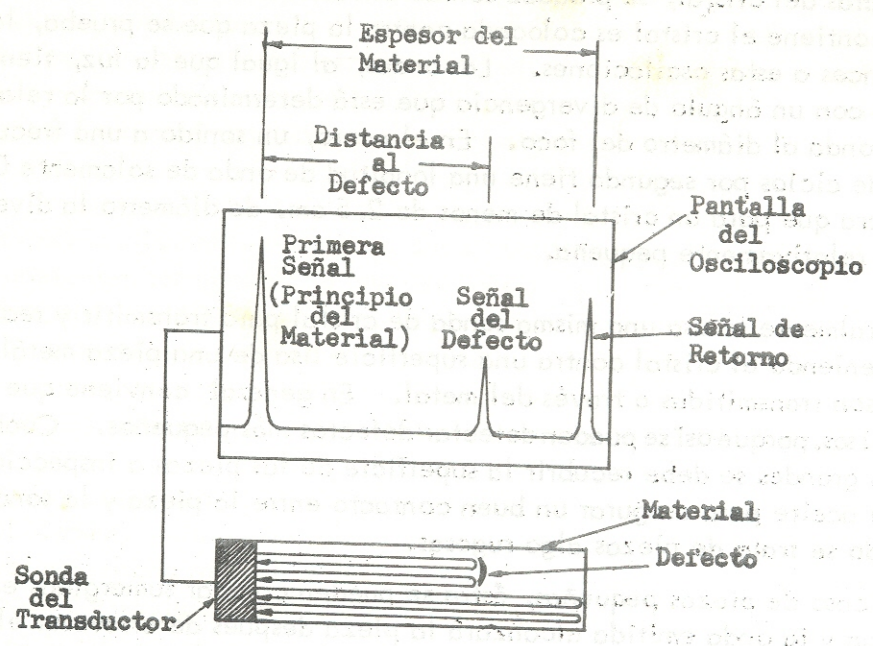
Las ondas ultrasónicas son producidas generalmente por medio del efecto piezoeléctrico en un cristal, normalmente de cuarzo o de sales de Rochelle, el cual, bajo la acción de las vibraciones eléctricas producidas por cambios de voltaje que le son aplicados, se expande y contrae produciendo una onda sonora longitudinal de la misma frecuencia. Al colocar el cristal en un campo eléctrico, un voltaje alterno produce oscilaciones mecánicas o cambios correspondientes en el espesor del cristal de tal manera que al aplicar una corriente eléctrica alterna de alta frecuencia (1 MHz) a tra

vés de las caras del cristal, se produce sonido ultrasónico. La sonda o cabeza exploradora que contiene el cristal es colocada contra la pieza que se prueba, la cual es sometida entonces a estas oscilaciones. Las ondas, al igual que la luz, tienden a viajar en haces con un ángulo de divergencia que está determinado por la relación de la longitud de onda al diámetro del foco. En el acero, un sonido a una frecuencia de 5,000,000 de ciclos por segundo tiene una longitud de onda de solamente 0.12 cm., de tal manera que para un cristal de menos de 2.5 cm. de diámetro la divergencia de los haces es relativamente pequeña.

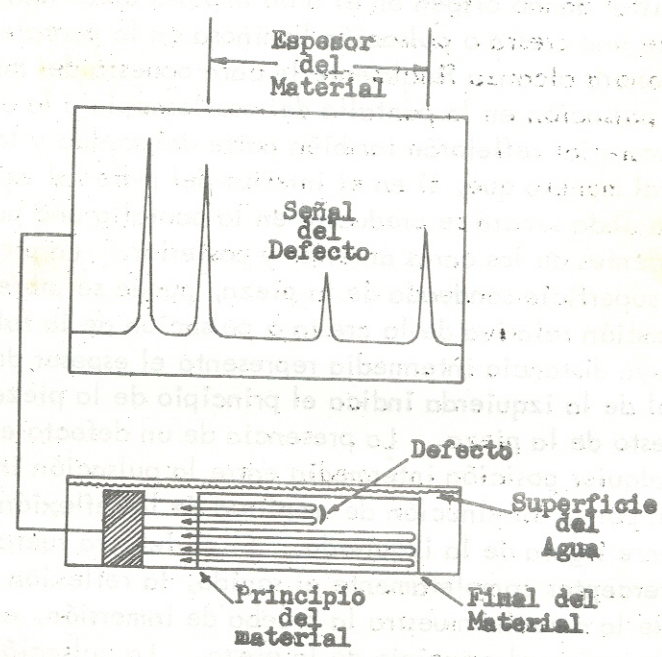
Generalmente se usa una misma sonda de cristal para transmitir y recibir las ondas. Manteniendo el cristal contra una superficie lisa de una pieza metálica, las ondas sonoras son transmitidas a través del metal. En general conviene que las superficies sean lisas, porque así se pueden detectar defectos más pequeños. Cuando se trata de piezas grandes se debe recubrir la superficie de las piezas a inspeccionar con una capa de aceite para asegurar un buen contacto entre la pieza y la sonda, especialmente cuando se trata de piezas algo rugosas.

En el caso de piezas pequeñas, éstas se pueden colocar sumergidas en agua, aceite o glicerina y la onda emitida alcanzará la pieza después de atravesar el medio en que se encuentra sumergida.

En operación, se introduce una vibración ultrasónica de corta duración en el metal y los intervalos entre la transmisión de la señal enviada y la recepción de la señal recibida son recibidos en un osciloscopio de rayos catódicos. Al chocar la onda sonora con la superficie del material que se va a inspeccionar, parte se refleja y vuelve nuevamente al cristal dando origen en él a un impulso eléctrico, el cual una vez amplificado, produce una cresta o pulsación luminosa en la pantalla del osciloscopio. Cuando la onda sonora alcanza finalmente la cara opuesta del material, es reflejada produciendo otra pulsación en la pantalla del osciloscopio a la derecha de la primera. Los defectos del material reflejarán también parte del sonido y lo regresarán antes al instrumento, de tal manera que, si en el interior del material existe una grieta, al reflejarse en ella la onda sonora se producirá en la pantalla una pulsación situada entre las señales procedentes de las caras anterior y posterior. La profundidad de la grieta por debajo de la superficie sondeada de la pieza, puede ser obtenida fácilmente midiendo la localización relativa de la cresta o pulsación de la falla entre las dos crestas exteriores, cuya distancia intermedia representa el espesor del material. En otras palabras, la señal de la izquierda indica el principio de la pieza y la de la derecha indica el lado opuesto de la pieza. La presencia de un defecto es mostrada por una tercera señal en cualquier posición intermedia entre la pulsación inicial y la reflexión de retorno y también por la disminución de amplitud de la reflexión de retorno, como lo muestra la siguiente figura de la izquierda. Si el defecto fuera suficientemente grande como para interceptar completamente el sonido, la reflexión de retorno desaparecería. La figura de la derecha muestra la prueba de inmersión, en la cual la segunda señal en la pantalla indica el principio de la pieza. La pulsación inicial o primera señal puede ser sacada de la pantalla para facilitar la interpretación. La prueba por inmersión provee flexibilidad, ya que la sonda o cabeza palpadora del transductor puede ser movida bajo el agua para introducir el haz de sonido a cualquier ángulo y además, como no está en contacto con la pieza, no está sujeta a desgaste.



Prueba Ultrasónica Común



Prueba Ultrasónica por Inmersión

En la pantalla del osciloscopio aparece constantemente una escala de tiempo o distancia en forma de onda cuadrada; ésta indica la distancia desde la superficie en donde se aplica el cristal o sonda hasta la superficie reflectante, ya sea que esta última sea el defecto o el lado opuesto del objeto. La escala de distancia puede ser variada de tal manera que 1 ciclo de la onda puede indicar por ejemplo 1 pulgada o 1 pie.

Este método para localizar defectos dentro de piezas metálicas es más sensitivo que la radiografía. El defecto de tamaño mínimo que puede ser detectado es igual a alrededor de 0.1% de la distancia que hay del cristal al defecto. Sin embargo, es muy importante que las superficies de la pieza en donde se pone en contacto el cristal sean suficientemente lisas. Como las superficies fundidas son en la mayoría de los casos demasiado rugosas, se necesita algo de labrado preliminar con ese tipo de piezas.

Los ultrasonidos se utilizan para detectar y localizar rechupes, roturas, o grietas interiores, poros, inclusiones, laminaciones, falta de unión, tamaño de grano y la falta de penetración o de fusión en las soldaduras. También puede emplearse para la medición de las variaciones de espesor de las paredes de recipientes o depósitos cerrados, aún a altas temperaturas, las cuales son imposibles de medir por otros procedimientos.

Las ventajas del método son su alta sensibilidad, relativa rapidez, gran penetración de hasta 30 pies, localización precisa de un defecto, que solo se necesita tener acceso a un lado de la pieza (con 1 transductor) y que puede ser automatizado. Sus desventajas son la dificultad para usarlo con formas complejas, que la rugosidad de la superficie puede afectar la prueba, que la orientación del defecto afecta la prueba, que generalmente no queda un registro permanente del resultado y que requiere bastante habilidad de parte del operador.

El equipo ultrasónico del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería tiene una capacidad de penetración de 250 pulgadas en acero, es decir casi 11 pies; la máxima penetración de los equipos más potentes de ultrasonidos es de 30 pies. Utiliza como fuente de energía baterías de níquel-cadmio recargables hasta 2000 veces o corriente alterna de 115 voltios y 60 cps a través de la unidad recargadora.

El equipo de ultrasonidos se utiliza generalmente donde se necesita portabilidad y facilidad de operación, para inspecciones de campo tales como reconocimientos de corrosión, medición de espesores, inspección de soldaduras y detección de defectos. La inspección de soldaduras en el campo es necesaria en la construcción de recipientes a presión, tuberías, puentes, estructuras de edificios y en general todas las soldaduras estructurales gruesas. Los reconocimientos de corrosión y la medición de espesores se realizan en mejor forma con los ultrasonidos porque, cuando se usa un solo transductor como transmisor y receptor, las lecturas se hacen de un solo lado, como es necesario con tubos de calderas, tanques digestores de pulpa, recipientes a presión, placas y planchas, tanques de almacenamiento, sistemas de tubería y aeroplanos. El equipo Ultrasónico de la Facultad hace posible realizar pruebas a altas temperaturas de hasta 1200° F para comprobar la reducción de paredes, la corrosión, la erosión, los defectos y la fragilización o agrietamiento intercrystalino en intercambiadores de calor.

La función del sistema de control es mantener el nivel de agua en el tanque a un nivel constante. El controlador recibe como entrada el nivel de agua actual y genera una señal de control que actúa sobre la válvula de admisión de agua.

El controlador puede ser un controlador proporcional, un controlador integral o un controlador derivativo. El controlador proporcional genera una señal de control proporcional al error de nivel de agua.

El controlador integral genera una señal de control proporcional a la integral del error de nivel de agua. El controlador derivativo genera una señal de control proporcional a la derivada del error de nivel de agua.

El controlador PID genera una señal de control proporcional a la suma de la señal de control proporcional, integral y derivativa. El controlador PID es el más utilizado en la industria.

El controlador PID puede ser implementado en hardware o en software. El controlador PID implementado en software es más flexible y fácil de modificar.

El controlador PID puede ser implementado en hardware o en software. El controlador PID implementado en software es más flexible y fácil de modificar. El controlador PID puede ser implementado en hardware o en software. El controlador PID implementado en software es más flexible y fácil de modificar.

MANTENIMIENTO DEL EQUIPO ELECTRICO

Para establecer un programa satisfactorio de mantenimiento del equipo eléctrico, se deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Instalación correcta del equipo adecuado.
2. Personal adecuado para realizar el Mantenimiento.
3. Establecer la aplicación del Mantenimiento Preventivo.

Es necesario que el equipo sea el adecuado para el trabajo a realizar y al mismo tiempo que esté bien instalado, a fin de prever futuros requerimientos de mantenimiento. Esto facilitará la labor de mantener el equipo en óptimas condiciones de funcionamiento. Si existiera una mala instalación, debe procederse a enmendar esa situación en lugar de elaborar un programa de mantenimiento para las condiciones existentes.

Las personas empleadas en el mantenimiento deben conocer bien la operación del equipo y deben ser capaces de realizar las inspecciones y reparaciones necesarias en el mismo. Es muy importante que estas personas cuenten siempre con los instructivos de los fabricantes, ya que éstos constituyen una ayuda conveniente y necesaria en toda operación relacionada con el funcionamiento o reparación del equipo, especialmente en la elaboración de las listas de inspección del mismo.

El mantenimiento preventivo comprende un sistema de inspecciones rutinarias del equipo, con un registro adecuado de los mismos para referencia futura y las reparaciones necesarias para prevenir serias dificultades de operación. En el mantenimiento preventivo del equipo eléctrico, a veces una cosa tan sencilla como apretar un tornillo o tuerca flojos puede prevenir un futuro corto circuito,

Los registros o archivos de las inspecciones son necesarios para suplementar la memoria de las personas encargadas de las mismas. Aún en el caso de que una sola persona se encargue de la inspección de toda una planta pequeña, no es recomendable hacer caso omiso de los archivos y de las listas de inspección, ya que éstas ayudan a la buena ejecución de la rutina de inspecciones necesarias para un buen mantenimiento preventivo.

La inspección sistemática de los aparatos eléctricos es vital para la operación continua y costos mínimos de mantenimiento y depreciación y tiene una influencia directa sobre la economía de cualquier sistema eléctrico. Toda planta industrial hallará provechoso el establecer un programa práctico de inspecciones que satisfaga los requerimientos individuales de la planta y el mantener un archivo de inspecciones disponible para referencia. Las instrucciones de los fabricantes sobre la maquinaria y el equipo deben ser cumplidas y preservadas en un archivo. Si ocurren fallas aún cuando

se siguen las instrucciones, las razones deben ser investigadas y anotadas en el archivo - de mantenimiento. La operación continúa y segura de los aparatos eléctricos depende de una buena inspección, del mantenimiento adecuada y de la pronta atención a las reparaciones necesarias.

La base del mantenimiento preventivo es una serie de inspecciones rutinarias del equipo. Dichas inspecciones comprenden operaciones repetitivas y ordinarias y algunas que por su extensión son llevadas a cabo una o dos veces al año. La frecuencia con que se debe efectuar cada operación de inspección y mantenimiento debe ser fijada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y con las condiciones de operación de cada unidad de equipo. La frecuencia de las inspecciones depende también de la importancia que tiene una determinada unidad para el buen funcionamiento de las áreas más importantes de la fábrica.

Un programa de inspección debe cubrir toda la planta, desde la fuente de suministro de energía o entrada de servicio hasta cada dispositivo consumidor de energía. Un programa de mantenimiento e inspección puede ser planificado después de una inspección de la planta. En la planificación debe tomarse en cuenta el tamaño de la planta y la localización, tipo y condición de los aparatos.

Además de las causas eléctricas, las causas mecánicas son también frecuentemente las que producen las fallas de los aparatos eléctricos. Entre ellas se cuentan la fricción excesiva debida a una falla de un cojinete o a una transmisión defectuosa, las piezas desgastadas o defectuosas y la vibración. Entre las causas eléctricas se cuentan la falla del aislamiento y de los contactos, la suciedad y la humedad. Todas las fallas deben ser analizadas cuidadosamente y deben tomarse inmediatamente las medidas necesarias para prevenir su repetición.

Causas Generales de las Fallas:

Prácticamente todas las fallas de los aparatos eléctricos se deben a una o varias de las causas siguientes:

1. Aislamiento sobrecalentado o dañado.
2. Contactos eléctricos quemados o picados.
3. Exceso de fricción.
4. Piezas gastadas o defectuosas.

El sobrecalentamiento es a menudo causado por:

1. Sobrecargas.
2. Suciedad y obstrucciones al enfriamiento normal.
3. Aumento de resistencia en los contactos o conexiones.
4. Falta de aceite para propósitos de lubricación o enfriamiento.
5. Vibración, la cual ocasiona tornillos, pernos y tuercas flojos, además de abrasión.
6. Falta de protección del material contra la humedad excesiva y los ácidos.

La mayoría de los defectos anteriores afectan a toda clase de aparatos eléctricos y deben ser considerados al efectuar las inspecciones. Por ejemplo, los malos contactos suceden frecuentemente en los relevadores, interruptores, reóstatos, en las terminales de los motores, etc.

Las inspecciones de todo el equipo eléctrico deben incluir un examen cuidadoso de las causas de todas las fallas eléctricas, las cuales podrán entonces ser eliminadas. Este procedimiento reducirá los costos de operación y mantenimiento. Se deberán hacer las inspecciones cuando los aparatos hayan alcanzado su temperatura normal de operación, porque parte del equipo, como los motores y generadores, requieren varias horas de operación para llegar a su máxima temperatura y algunos motores están diseñados para operar a mayor temperatura que otros. Estos factores deben ser considerados por el inspector. Se deben determinar las causas de los aumentos de temperatura porque a veces pueden ser una indicación de futuras molestias. Las temperaturas ambientales también deben ser consideradas.

El equipo eléctrico opera generalmente en una gran variedad de condiciones, las cuales pueden influir fácilmente en su deterioro. La vibración, el agua, la humedad, el polvo, el frío y muchas otras condiciones pueden afectar la operación adecuada de los aparatos eléctricos.

La planificación de las instalaciones debe proveer una protección adecuada de las piezas eléctricas del aceite, la grasa y la suciedad, todos los cuales son generalmente muy dañinos a los embobinados y partes similares. Debido a que el calor es dañino a la mayor parte del equipo eléctrico, se debe proveer una ventilación adecuada del mismo.

El polvo es probablemente el mayor enemigo de todo equipo eléctrico, debido a que su acumulación reduce la ventilación interna y externa del equipo y causa obstrucciones perjudiciales. La falta de ventilación produce un mayor calentamiento, el cual reduce la eficiencia. Además se reduce la vida útil del aislamiento debido a que la mayoría de los materiales aislantes tiene una expectativa de vida que disminuye rápidamente cuando aumenta la temperatura.

El aislamiento eléctrico del equipo se daña con el tiempo. Si se realizan comprobaciones cuidadosas de la disminución de la resistencia del aislamiento se pueden prevenir muchas fallas. Una baja repentina en la resistencia del aislamiento de cualquier unidad indica un problema en potencia, el cual puede ser evitado frecuentemente tomando las medidas correctivas correspondientes.

El equipo en rotación, tal como los motores de inducción, requiere lubricación para protegerlo contra el desgaste. Los cojinetes deben ser comprobados para mantener los espacios libres apropiados entre las partes estacionarias y en movimiento. El mantenimiento y lubricación de los cojinetes son de gran importancia. La lubricación inadecuada puede ocasionar el deterioro del aislamiento debido a fugas del aceite, así como la falla del cojinete mismo y otras dificultades mecánicas. La falla de un cojinete, a la vez, puede permitir que el rotor roce contra el estator.

Los dispositivos de protección funcionarán bien solamente si son inspeccionados y comprobados periódicamente. Por ejemplo, un relevador de sobrecarga que no abre el circuito en el nivel de operación apropiado es un mal seguro contra una posible falla eléctrica seria. Un relevador de sobrecarga puede ser abandonado por tanto tiempo que se llega a bloquear con polvo entre los contactos, impidiendo su operación.

Operaciones Esenciales del Mantenimiento de Equipo Eléctrico

Debido a los efectos nocivos que la suciedad, la humedad, los malos contactos y la fricción indebida tienen sobre todo equipo eléctrico, se puede decir que existen cuatro reglas esenciales y generales que deben cumplirse al efectuar un programa de mantenimiento de dicho equipo. Estas cuatro reglas son aplicables a todo equipo eléctrico por igual, aunque es lógico que para cada uno de los diferentes tipos específicos de aparatos se aplicarán necesariamente otras consideraciones. Sin embargo, estas cuatro reglas esenciales son de tal importancia que si una sola de ellas es ignorada, es seguro que ocurrirá algún problema con el equipo.

Dichas reglas son:

- 1) Mantenerlo limpio.
- 2) Mantenerlo seco.
- 3) Mantenerlo apretado.
- 4) Mantenerlo libre de fricción.

Como ya se dijo antes, la causa principal de las fallas del equipo eléctrico es la suciedad, sea ésta debida al polvo que se acumula con el tiempo, a las partículas metálicas provenientes de una máquina cercana, a la hilaza o a las sustancias químicas en forma de polvo, ésta contaminará y hará fallar al equipo eléctrico. Si la suciedad se acumula en las partes eléctricas en movimiento, puede causar obstrucciones que llevan a una operación lenta, a la formación de un arco y a la quemadura. Si sucede en los embobinados puede ocasionar un corto circuito y su falla. La suciedad casi siempre implica calentamiento debido a la mayor resistencia ocasionada; también reduce la vida útil del equipo. Todo programa de inspecciones del equipo eléctrico deberá incluir un plan de limpieza sistemática del mismo.

La humedad afecta perjudicialmente al equipo eléctrico en varias formas. Puede ocasionar corrosión en las partes de cobre y hierro que tiene todo aparato eléctrico y dicha corrosión, al igual que el polvo, produce una mayor resistencia y calentamiento y la falla eventual. La humedad también puede causar corto circuitos y por lo tanto una falla inmediata. Además del agua, la presencia de otros líquidos también puede causar daños de consideración en partes tales como los aislamientos de los embobinados, lo cual también produce fallas eventuales. Además la humedad puede contribuir a la acumulación de suciedad sobre las piezas, lo cual también causa problemas. Los fabricantes ofrecen cubiertas especiales a prueba de humedad para el equipo que debe operar bajo estas condiciones.

Las conexiones en el equipo eléctrico son afectadas por las vibraciones exteriores

y las debidas al desgaste de las piezas en movimiento a alta velocidad. Por esta razón se debe comprobar el ajuste de las conexiones apretando las que estén flojas como una medida de precaución rutinaria. Es más fácil y rápido ajustar todas las conexiones que se encuentren flojas, que buscar más tarde en dónde y por qué ocurrió una falla.

Todo equipo eléctrico debe funcionar con un mínimo de fricción, por lo que los cojinetes siempre deben estar bien lubricados para proveer un movimiento continuo y un buen apoyo y alineación al rotor.

Mantenimiento de Motores de Inducción

Los motores de inducción de corriente alterna más comunes son el de jaula de ardilla y el de rotor devanado. La diferencia entre ambos es que el motor de jaula de ardilla no tiene conexiones secundarias o externas en rotación, mientras que el motor devanado tiene un rotor con embobinados colocados en las ranuras de la superficie del núcleo, los cuales están agrupados para formar un embobinado trifásico conectado en triángulo o en estrella, cuyos extremos están conectados a tres anillos colectores. El propósito de éstos es permitir la conexión de resistencia en serie en el embobinado del rotor para ayudar a aumentar su torque de arranque. Cuando el rotor alcanza su velocidad de operación, un interruptor automático corta la resistencia y corto circuita los anillos colectores. El rotor entonces funciona como uno del tipo jaula de ardilla. Ambos motores tienen una velocidad bastante constante con las variaciones de carga y un buen torque de arranque, sobre todo el de rotor devanado.

Estos dos tipos de motor son bastante robustos y sus requerimientos de mantenimiento son mínimos, reduciéndose casi por completo a su operación y aplicación correctas. Sin embargo, es fundamental la aplicación de las operaciones esenciales ya mencionadas.

La mayoría de las reparaciones de estos motores consiste en reemplazar o reparar los embobinados del estator. Las fallas en el estator se deben a cualquiera de las causas siguientes:

1. Sobrecarga.
2. Humedad.
3. Cojinetes desgastados.
4. Mal aislamiento.
5. Operación monofásica.

Las razones de las sobrecargas impuestas sobre los motores originalmente bien seleccionados son: (a) un trabajo más severo impuesto sobre la máquina conectada a él, (b) un material de diferentes características de labrado y (c) cambio de operaciones en la máquina.

La causa principal de la sobrecarga de los motores es una carga mecánica demasiado grande sobre la máquina accionada. El motor toma una corriente adicional para

desarrollar el aumento necesario de potencia. Esto aumenta la temperatura de operación, lo cual disminuye la vida del aislamiento. La protección del tipo térmico contra sobrecargas es la más usada debido a que las sobrecargas momentáneas generalmente no causan daños. El efecto térmico de la sobrecarga se mide por medio de relevador termostático en contacto directo con los embobinados. El calentamiento del motor es una relación inversa entre la corriente y el tiempo. Es decir si la sobrecarga es grande, la temperatura máxima permisible es alcanzada rápidamente mientras que una sobrecarga pequeña puede ser soportada durante un tiempo relativamente largo.

La protección por sobrecarga es sumamente importante en el concepto de una buena instalación; obligatoria según los códigos eléctricos existentes. En general, la protección contra sobrecargas significa protección contra sobrecalentamiento, el cual también puede resultar de arranques y paradas demasiado frecuentes. La corriente efectiva durante el ciclo de operación excede entonces al valor de la corriente nominal del motor para operación continua.

Los rotores devanados tienen un embobinado trifásico y por lo tanto están sujetos al problema de operar monofásicamente. Si un sistema trifásico tiene una fase abierta esto significa que los motores en dicho sistema están recibiendo potencia monofásica y que parte de sus embobinados está recibiendo corriente excesiva. El primer síntoma de un circuito abierto en el rotor es la pérdida de torque con disminución de la velocidad, acompañado de un ruido característico. El torque de arranque es reducido en estas condiciones. Para detectarlas es necesario buscar evidencia de calentamiento en las conexiones externas de los anillos y de los embobinados o una falla externa de acometida de energía.

Los circuitos de control para los motores de inducción cuentan ahora con protección por relevadores. Los relevadores de sobrecarga miden el exceso de corriente que se desarrolla al fundirse uno de los fusibles mientras el motor está en operación bajo carga y esta corriente acciona el relevador para desconectar el motor antes de que se dañe debido a sobrecalentamiento.

Mantenimiento de Transformadores

Todo plan de mantenimiento de transformadores deberá incluir comprobaciones del nivel del aceite, de la resistencia del aislamiento, de los bujes (bushings) y del tanque. En muchas plantas estas comprobaciones se hacen cada doce meses, pero el plan para realizarlas depende de las condiciones particulares de operación y de las medidas que el diseñador del transformador tomó para reducir su mantenimiento.

Las operaciones de mantenimiento están comprendidas en dos categorías: (1) comprobación del aislamiento que separa los circuitos eléctricos (primario y secundario) y las trayectorias eléctrica y magnética y (2) mantener efectivo el sistema de enfriamiento para asegurar un flujo libre del calor.

La limpieza es tan esencial para el buen funcionamiento en un transformador como lo es un motor. Esto significa que las superficies exteriores del tanque estén lim-

pías y los empaques en buenas condiciones para impedir que entren el polvo, la suciedad en general y la humedad. Los embobinados y los tableros terminales dentro del tanque deben también mantenerse limpios. Los sedimentos y la suciedad deben ser removidos de las unidades del tipo lleno de líquido antes de que interfieran con la circulación y eviten el enfriamiento.

Cuando se trabaje en un transformador abierto se debe tener cuidado de no dejar caer herramientas dentro de los embobinados, ya que cualquier cosa que se deje permanecer allí puede causar una avería. Una solución es mantener todas las herramientas sujetas en el cinto del inspector.

Si fuese necesario tomar lecturas de temperaturas dentro del tanque, es preferible usar termómetros de alcohol y no de mercurio, porque este último es un buen conductor y puede causar problemas si se rompe el termómetro.

La prueba más simple y práctica del aislamiento en un transformador es la medición de la resistencia del aislamiento con un megohmetro. Cualquier disminución con respecto a pruebas anteriores es una señal de posibles problemas futuros.

Los transformadores pueden ser clasificados en húmedos y secos de acuerdo con el medio usado para absorber el calor de los embobinados. En el tipo húmedo el líquido sirve un doble propósito: como medio primario de transferencia de calor y como aislamiento. El aceite mineral realiza estas funciones pero constituye un riesgo de incendio. Por esta razón se han desarrollado líquidos sintéticos no inflamables para permitir su instalación en interiores sin necesidad de una bóveda. Este líquido debe ser usado únicamente en unidades específicamente diseñadas para funcionar con él. Este tipo lleno con líquido, aceite o líquido no inflamable, predomina en los de más de 500 Kva. Las unidades del tipo seco usan aire o un gas inerte como el nitrógeno como medio para retirar el calor de los embobinados del transformador.

Con los transformadores del tipo húmedo, la comprobación rutinaria más importante es la de la resistencia dieléctrica del líquido. Para comprobar el aceite se usa un equipo de pruebas de alto voltaje. La resistencia dieléctrica de un aceite nuevo es generalmente de por lo menos 26 Kv al comprobarlo en una taza de pruebas de norma. Si no lo es, no se debe agregar al transformador. El aceite en servicio debe soportar por lo menos 22 Kv. Si no lo hace se debe rectificar.

Para comprobar el líquido no inflamable, se debe tomar muestras de la porción superior y del fondo, ya que por ser más denso que el agua, ésta tiende a subir. Se debe llenar la taza por lo menos cinco veces y se promedian las lecturas. Si el líquido no soporta 25 Kv, debe ser filtrado.

Para los transformadores secos, el procedimiento de conservación es algo diferente. Si la unidad está completamente sellada, tiene poco mantenimiento fuera de la resistencia del aislamiento y la comprobación de la presión del gas inerte. Los tipos ventilados abiertos necesitan tomar en consideración otras operaciones.

Si las unidades están en áreas limpias pueden ser inspeccionadas anualmente. En los lugares sucios deben limpiarse cada tres o seis meses. Las primeras inspecciones servirán para dar una idea sobre cuál es el intervalo apropiado.

Para realizar la inspección, se debe desconectar el transformador de la línea y luego se quitan las cubiertas removibles. Se inspecciona en busca de polvo, especialmente sobre los aislamientos o en donde éste pueda limitar el flujo de aire. Se comprueba si existen conexiones flojas o bien calentamiento o escurrimiento en las superficies del aislamiento. También se deben buscar señales de corrosión. Los dispositivos auxiliares y los ajustes de los relevadores térmicos también deben ser comprobados. Las pruebas necesarias antes de poner nuevamente en servicio un transformador, son descritas detalladamente por los fabricantes.

Reglas de Seguridad

Al trabajar con electricidad siempre se debe tener cuidado y considerar cada circuito como portador de corriente. Todas las fuentes y circuitos de energía deben ser respetados como potencialmente peligrosos.

Se debe evitar el uso de anillos, pulseras y cadenas metálicas durante el trabajo, ya que éstos pueden ser atrapados entre las partes en movimiento o entrar en contacto con los circuitos eléctricos.

Los ojos deben ser protegidos con anteojos cuando se trabaje cortando metal, esmerilándolo, o cuando se trabaje en circuitos con corriente.

Todo el equipo eléctrico debe ser conectado a tierra al ser instalado para evitar que alguna persona reciba una descarga eléctrica debido a un mal aislamiento en el equipo o a que éste reciba corriente de otra fuente.

Cuando se trabaja sobre superficies mojadas o sobre el suelo con aparatos conectados a tierra, se debe colocar una superficie aislante entre uno y el suelo para evitar que el propio cuerpo provea una trayectoria a la corriente al tocar conductores o aparatos que puedan portar corriente.

Al operar un interruptor se debe comprobar la condición de operación del circuito antes de abrirlo o cerrarlo para prevenir el caso de que el interruptor esté defectuoso o para proteger a otro trabajador que pueda estar expuesto. El interruptor debe ser operado firmemente para evitar la formación de un arco o el calentamiento innecesario.

Los condensadores deben ser descargados a tierra antes de manipularlos o de hacer conexiones, ya que pueden tener almacenada una carga suficiente para lesionar a una persona.

Resumen

Para resumir, las buenas prácticas de mantenimiento dependen de lo siguiente:

1. Limpieza: Mantener el equipo limpio, seco y bien ventilado.

2. Inspecciones regulares: Advertir las variaciones existentes con respecto a las condiciones normales de funcionamiento.
3. Lubricación: Aplicar los lubricantes apropiados cuando sean necesarios, pero no en exceso. Desarrollar programas de lubricación y adherirse a ellos.
4. Reparaciones y Ajustes: Recordar que todas las reparaciones o ajustes pequeños que son descuidados o pospuestos muy frecuentemente, llevan a mayores trabajos de reparación.
5. Archivos: Desarrollar un sistema de archivos que muestre las reparaciones requeridas por el equipo en un largo período de tiempo.
6. Instrucciones del Fabricante: Seguir las instrucciones del fabricante en lo referente a la operación y conservación del equipo.
7. Reglas de Seguridad: Observar todas las reglas de seguridad al darle servicio al equipo eléctrico.

La posición regular. Advertir las variaciones existentes en relación a las
 condiciones normales de funcionamiento.
 1.2.2. Acción de los lubricantes. Los lubricantes son una parte esencial para
 el funcionamiento de los motores. Desempeñan un papel de lubricación y reducción de fricción.
 Los aceites y grasas utilizados en los motores deben ser de calidad superior y
 cumplir con las especificaciones requeridas para su uso. El tipo de lubricante
 depende de la temperatura y del régimen de funcionamiento.
 1.2.3. Mantenimiento de los sistemas de lubricación. El mantenimiento de los
 sistemas de lubricación es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de
 los motores. Debe realizarse de forma regular y seguir las recomendaciones
 del fabricante. Entre los puntos a controlar se encuentran el nivel de aceite,
 la presión de lubricación y el estado de los filtros.
 1.2.4. Diagnóstico de problemas de lubricación. Ante cualquier anomalía en
 el funcionamiento del motor, debe investigarse la causa de la avería. Entre
 las causas más comunes de problemas de lubricación se encuentran:
 - Falta de aceite.
 - Aceite de mala calidad.
 - Filtros obstruidos.
 - Rotura de los sellos.
 - Problemas de presión de lubricación.
 - Problemas de temperatura.
 - Problemas de regulación de la válvula de seguridad de alta presión.
 - Problemas de regulación de la válvula de baja presión.
 - Problemas de regulación de la válvula de control de la presión de lubricación.
 - Problemas de regulación de la válvula de control de la temperatura.
 - Problemas de regulación de la válvula de control de la presión de lubricación y temperatura.
 - Problemas de regulación de la válvula de control de la presión de lubricación y temperatura y regulación de la válvula de control de la presión de lubricación y temperatura.

IV

LUBRICACION

El tema de la lubricación está íntimamente asociado con las condiciones de operación de los motores. No importa qué tan bien esté diseñado un motor o máquinas de el punto de vista de su eficiencia térmica y resistencia, y qué también esté construido desde el punto de vista de los materiales y mano de obra, si la lubricación de todas las partes en movimiento no es atendida adecuadamente, el motor mostrará un alto desgaste y tendrá una corta vida útil.

La cuestión de la lubricación es probablemente el más vital de todos los detalles de la operación de una planta motriz. Los malos aceites lubricantes y la aplicación incorrecta de los buenos aceites son las causas de gran parte de los problemas experimentados en la operación de un motor, razón por la cual el ingeniero de planta debe prestarle especial atención.

Un motor sólo da trabajo útil una vez que la fricción en los cojinetes, válvulas, segmentos, devas, etc., ha realizado sus estragos. Pero este trabajo útil también es consumido en gran parte por la fricción en los engranajes, frenos y elementos de transmisión. Los efectos del desgaste son también de un significado muy importante. La pérdida de algunos gramos de material en los puntos críticos determina el rápido reemplazamiento de una máquina de producción y la reducción del desgaste mediante una lubricación adecuada, es una necesidad básica en la conservación de los recursos naturales, reduciendo la producción de chatarra.

En el sector industrial, donde se invierten grandes sumas de dinero en máquinas-herramientas y de producción, al aumentar la vida de servicio de una unidad, se disminuye el tiempo de parada ocasionado por las reparaciones y las sustituciones, logran reducir al mínimo la interrupción de las líneas de producción y consiguiendo menores costos de operación y de fabricación. La historia de la maquinaria industrial pone de manifiesto que la lubricación adecuada y su aplicación correcta pueden ahorrar mucho dinero. Por lo tanto, el estudio de la lubricación es fundamental siempre que se trate de reducir el desgaste en la producción de energía, de conservar los recursos críticos de una nación, de mantener los horarios de producción de una fábrica, de aumentar la vida activa de las máquinas-herramientas y de producción y de obtener mayores beneficios de una instalación.

La necesidad de contar con lubricantes especiales, para el laboratorio y para aplicaciones industriales, aumenta constantemente. El ingeniero necesita una buena asistencia de parte del laboratorio químico en el análisis de aceites, depósitos, etc. Por otra parte, los químicos no deberán hacer recomendaciones, excepto en consultación con un ingeniero que esté habilitado para investigar y juzgar la importancia de las condiciones mecánicas y de operación de la planta, lo cual es esencial para interpretar correctamente el valor de los hallazgos del laboratorio.

Propósito de la Lubricación

La lubricación de las partes que tienen movimiento relativo en una máquina es necesaria para reducir la fricción y el desgaste que destruirían eventualmente dichas partes. Para cumplir satisfactoriamente los aceites lubricantes deben: (1) lubricar las muchas superficies en rozamiento, (2) ayudar a eliminar el calor de la máquina y transferirlo a la atmósfera, (3) reducir las pérdidas de potencia por fricción y (4) ayudar a mantener limpia la máquina de tal manera que las partes funcionen adecuadamente. En los motores de combustión interna el aceite lubricante debe también ayudar a sellar los anillos de compresión, de tal manera que los gases calientes de la cámara de combustión no puedan colarse por los anillos para causar altas pérdidas de potencia y el deterioro del lubricante.

El objetivo principal del sistema de lubricación de una máquina es mantener continuamente una película de aceite en todas las superficies en movimiento en donde actúa la resultante de la distribución de presión (superficies de carga), del tal modo que la fricción y el desgaste sean reducidos al mínimo permitido por las condiciones de operación. Los aceites se usan para reducir la fricción no sólo porque la fricción utiliza una potencia que de lo contrario estaría disponible para realizar trabajo sino también porque la fricción es nociva al generar calor que puede dar lugar a la destrucción de las piezas móviles. Mientras mayor sea la fricción presente entre las piezas en movimiento, mayor será la energía requerida para vencer esa fricción. Este aumento de energía disipada aumenta el calor producido y las piezas móviles que han sido privadas de aceite se derretirán, fundirán o agarrarán después de un período breve de funcionamiento de la máquina.

En los motores de combustión interna, los cilindros y pistones deben estar lubricados eficazmente para evitar que se quemen o agarroten las piezas cuando rozan entre sí; la fricción es severa en ciertos puntos, especialmente en las superficies de los anillos del pistón, donde quedan en contacto con las paredes del cilindro. Aunque el cigüeñal, la biela, los cojinetes del pasador del pistón, los pistones y anillos son los puntos más importantes de lubricación del motor, hay muchas otras piezas que deben tener una cantidad adecuada de aceite. Los vástagos de las válvulas tienen que funcionar sometidos a esfuerzos y grandes cambios de temperatura durante largos períodos de tiempo. Los levantaválvulas y las levas deben también recibir lubricación. Todos los engranajes y las transmisiones accesorias deben estar constantemente bañados en aceite, así como todas las demás piezas móviles en el motor que están sometidas a fricción.

Cuando se emplea el sistema común de circulación, el lubricante sirve también como enfriador y recoge el calor de las superficies metálicas y permite su disipación a los alrededores. El aceite es calentado al entrar en contacto con los pistones y las paredes de los cilindros, cayendo después en el colector de aceite. Además, el aceite en el sumidero del motor es calentado por el calor proveniente de la combustión por medio de los gases infiltrados y por medio de la conducción de calor desde las partes metálicas.

El lubricante tiene también la función de lavar y arrastrar de las superficies de soporte en el motor, las partículas de metal que resultan del desgaste y otros contaminantes, tales como el carbón que puede formarse en las paredes de los cilindros. La filtración de los gases de combustión entre las paredes del cilindro y el pistón es disminuida y el ruido resultante del contacto entre las piezas en movimiento es reducido por la acción amortiguadora de la película de aceite.

La teoría de la lubricación es interponer una película de fluido entre las superficies en movimiento en tal forma que se evita el contacto entre las partes. La fricción de rozamiento entre las partes metálicas es sustituida por la fricción fluída entre las muchas capas de aceite microscópicamente delgadas de las cuales puede considerarse que está formada la película de aceite. Las fuerzas que oprimen a las superficies una hacia otra, tienden a sacar al lubricante entre ellas y pueden evitar la conservación de una película de aceite de suficiente espesor como para eliminar totalmente el contacto metálico. La película parcial resultante no eliminará la fricción tan plenamente como una película completa, pero permitirá que las piezas funcionen solamente con calentamiento y fricción moderados. Dependiendo de la carga soportada por un cojinete, su lubricación puede ser tan perfecta que la parte en movimiento flota completamente sobre una película de aceite, puede operar bajo una condición límite con una película tan delgada que existe contacto metálico parcial, o la carga puede ser tan grande que serán necesarios lubricantes de extrema presión, los cuales reaccionan con el metal para revestirlo con un compuesto resbaladizo y no interponen una película de aceite. La fricción nunca es eliminada del todo, debido a que cualquier fluido también opone resistencia al movimiento, pero sí es reducida a un valor menor, el cual varía con el espesor de la película de aceite, las características del cojinete o superficie de soporte y de la fricción fluída del lubricante.

Los lubricantes líquidos son usados universalmente en los motores de combustión interna debido a que pueden ser bombeados o rociados fácilmente y porque son efectivos en absorber y disipar el calor. Muchas partes vitales del motor son protegidas adecuadamente por medio de aceite bajo presión directa. Cuando éste es impráctico, un roció de aceite dará generalmente buenos resultados. Las piezas que soportan cargas pesadas a altas velocidades de rotación son lubricadas generalmente a alta presión.

Un lubricante fluído ideal sería capaz de proveer una película resistente para evitar la fricción metálica y al mismo tiempo, de crear una mínima resistencia o fricción fluída. Desafortunadamente, la viscosidad de los aceites es afectada por los cambios de temperatura a tal grado que las condiciones ideales son difíciles de lograr. Solamente las variaciones ambientales de temperatura crearán a menudo un gran cambio en la viscosidad del aceite. A bajas temperaturas el aceite se espesa considerablemente con la consecuente alta viscosidad y mala circulación durante el período de calentamiento. Recíprocamente, a altas temperaturas de operación, el aceite puede adelgazarse tanto que la película de aceite se rompe y ocasiona un rápido desgaste de las piezas en movimiento. Un problema esencial en lubricación es obtener un término medio satisfactorio entre las condiciones anteriores.

Descripción y Características de los Aceites lubricantes

Los lubricantes apropiados para motores son refinados del petróleo después de que los varios combustibles han sido separados. El proceso de refinación elimina las impurezas tales como el cieno, el asfalto, la cera y la parafina y también ciertas porciones del aceite mismo que son indeseables debido a que son inestables y tienden a oxidarse o deteriorarse en alguna forma bajo las severas condiciones halladas en el motor. Los aceites purificados son clasificados de acuerdo con las características que determinan las aplicaciones para las cuales son adecuados. Se realizan pruebas químicas y físicas en el laboratorio con aparatos de prueba diseñados y operados de acuerdo con los códigos de prueba de diferentes entidades. Estas pruebas forman la base para las especificaciones que determinan las propiedades y características del aceite y las aplicaciones particulares para las cuales es adecuado.

La Viscosidad, la cual es una de las más importantes características incluidas, expresa la resistencia del aceite a fluir en términos del número de segundos requeridos para que una muestra de 60 cc del aceite fluya a través del orificio del viscosímetro universal Saybolt a temperaturas de 100° F y 210° F. Cuando se traza sobre coordenadas de temperatura y viscosidad del American Petroleum Institute, las viscosidades yacen sobre una línea recta, la cual es extrapolada para hallar el valor correspondiente a 0° F. El aceite tiende a disminuir su viscosidad a altas temperaturas.

La razón de cambio en la viscosidad de un aceite con la temperatura está expresada por su Índice de Viscosidad. El índice de viscosidad es importante porque una excesiva resistencia al flujo a baja temperatura estorba seriamente el arranque y la lubricación inicial; recíprocamente, un adelgazamiento excesivo a alta temperatura menoscaba la lubricación y aumenta el consumo de aceite. A los aceites minerales puros refinados a partir de aceites crudos con base parafínica se les ha asignado un índice de viscosidad de 100 y a los aceites nafténicos, los cuales pierden viscosidad a una razón mucho mayor con el aumento de temperatura, un índice de 0. Es un sistema completamente empírico basado en la comparación de medidas de viscosidad de esos aceites, los cuales fueron seleccionados porque parecían poseer los límites máximo y mínimo de sensibilidad viscosidad-temperatura y por eso se les asignaron esos índices de viscosidad como los supuestos puntos extremos de una escala de índice de viscosidad de 100 puntos. Una comparación con las características de estos dos aceites establece el índice de viscosidad de cualquier aceite.

A algunos lubricantes comerciales se les agrega mejoradores del índice de viscosidad, los cuales espesan el aceite más a altas temperaturas que a las bajas. Estos mejoradores son polímeros, como los poliisobutilenos y polimetacrilatos, los cuales controlan directamente la razón de cambio de la viscosidad por medio de cambios en la conformación de sus moléculas, ya que están formados de grandes moléculas que se comportan en forma diferente a medida que cambia la temperatura. A bajas temperaturas, las largas moléculas del polímero están arrolladas en forma de pequeñas bolas y afectan muy poco al aceite, pero cuando la temperatura aumenta, se desenrollan y sus ligas laterales conectan a las moléculas de aceite, espesando toda la masa.

También relacionado con la viscosidad está el Punto de Fluidéz de un aceite. La

temperatura mínima a la que un aceite fluye determina su punto de fluidez. El aceite en el cárter debe tener un punto de fluidez apropiado para que el motor arranque fácilmente y sin sufrir deterioro por falta de lubricación después de haber estado expuesto a una baja temperatura. Los métodos usados para procurar aceites con bajos puntos de fluidez son las operaciones de desencerado mediante solventes en el proceso de refinación y la adición de recuctores del punto de fluidez. La cera puede ser extraída del aceite; sin embargo, el desencerado o desparafinado drástico, no solamente es caro, sino que también disminuye el índice de viscosidad, da una mala estabilidad de oxidación y cambia otras propiedades del aceite. Por estas razones, se prefieren los aditivos al desparafinado como medio para obtener puntos de fluidez bajos.

Para formar una idea clara de lo que significa para el motor el funcionamiento a bajas temperaturas, es necesario hacer una breve descripción de lo que sucede antes de que el aceite alcance su temperatura adecuada de operación. En primer lugar, la combustión es incompleta en un motor frío, y el vapor de la gasolina no quemada se infiltra a través de los pistones hacia el cárter, portando hollín. En segundo lugar, cada galón de gasolina que se quema produce más o menos un galón de agua. La mayor parte de ella sale del escape en forma de vapor, pero alguna cantidad pasa a través de los pistones y se condensa en las paredes frías del cárter. El agua resultante gotea luego hacia el aceite. En tercer lugar, la gasolina contiene también eliminadores diseñados para evitar la formación de depósitos de plomo en las cámaras de combustión. Estos eliminadores, tales como el dicloruro etilénico y el bromuro etilénico contienen, respectivamente, cloro y bromo, los cuales son altamente corrosivos. Cuando se unen a los gases que se han infiltrado hasta el cárter, crean ácido. Esta combinación de agua, hollín, gasolina a medio quemar y ácido, forma una pasta llamada sedimentación fría, la cual es sumamente dañina al corroer los cojinetes, entorpecer los conductos del aceite, pegar los anillos y atorar los levantaválvulas. Por otra parte, cuando el motor funciona en caliente, el calor oxida el aceite formando una capa de hidrocarburos quemados llamada barniz, la cual puede detener los levantaválvulas, doblar las varillas de empuje, pegar los anillos de los pistones y atorar las válvulas de alivio del aceite. Los detergentes-dispersantes, antioxidantes e inhibidores de la corrosión son agregados para recoger todos estos desechos y mantenerlos inofensivamente en suspensión hasta el momento del drenaje.

Los aditivos detergentes-dispersantes son deseables en los aceites usados en los motores Diesel o en los motores de encendido por chispa operados bajo condiciones extraordinariamente rigurosas. Estos aditivos imparten propiedades depuradoras al aceite y lo obligan a recoger y retener en suspensión partículas de carbón, suciedad e hidrocarburos oxigenados, las cuales de otra manera se acumularían en las acanaladuras de los anillos de los pistones, ocasionando anillos pegados al solidificarse por la alta temperatura o se depositarían sobre las superficies metálicas en forma de laca. Los especialistas en lubricación usan ambos términos, detergente y dispersante, para estos aditivos. Generalmente los químicos dicen detergente cuando se refieren a un compuesto de base metálica, tal como el sulfonato de calcio o de bario, y dispersante, cuando se refieren a una sustancia que no contiene un metal. Los compuestos químicos en esta última categoría son llamados comúnmente dispersantes sin cenizas debido a que a diferencia de los detergentes de base metálica, no dejan residuos cuando arden.

Los aceites lubricantes son clasificados por medio de números de viscosidad SAE de 5W a 50, incluyendo cada número aceites cuyas viscosidades están comprendidas dentro de una cierta gama de segundos Saybolt a 0° F para aceites W y a 210° F para otros. Los aceites W son de grados de baja viscosidad, adecuados para la lubricación de motores de automóvil. La viscosidad de un aceite 5W a 0° F debe ser menor de 4000 segundos, la de uno 10W entre 6000 y 12,000 segundos y la de un aceite 20W entre 12,000 y 48,000 segundos. Los aceites adecuados para motores que requieren aceites de mayor viscosidad y para operación a mayores temperaturas son graduados a 210° F. Los campos de viscosidad especificados para estos aceites son como sigue: No. 20: 45 a 58 segundos, No. 30: 58 a 70 segundos, No. 40: 70 a 85 segundos, y No. 50: 85 a 110 segundos a 210° F.

Los aceites multigrados tienen altos índices de viscosidad, logrados mediante la adición de mejoradores del índice de viscosidad y satisfacen las especificaciones a ambas temperaturas, 0° F y 210° F. Un índice de viscosidad de 140 permite que la viscosidad de un aceite 5W-20 cumpla con la limitación 5W a 0° F. y también que se encuentre dentro del campo correspondiente a un aceite 20 a 210° F. En la misma forma, un aceite 10W puede ser también un aceite 30. Un aceite 10W-30 es menos espeso a 0° F y más espeso a 210° F que un aceite 20W, proporcionando así arranque más fácil a bajas temperaturas y menor consumo de aceite a altas temperaturas.

El aceite lubricante en un motor tiende a oxigenarse y formar compuestos sólidos llamados sedimentos. Cuando la concentración de sedimentos es demasiado grande, la lubricación se entorpece. También existe la posibilidad de que la descomposición produzca sustancias corrosivas. La calidad del aceite también sufre debido a la contaminación por productos de la combustión y los restos de combustible no quemado que se infiltran por los anillos del pistón. Debido a estas acumulaciones, el aceite debe ser purificado y renovado a intervalos regulares o de lo contrario llegará un momento en que sea completamente ineficaz para proteger las piezas.

Para mantener en un mínimo los depósitos en un motor de combustión interna se recomienda lo siguiente:

- 1) Darle servicio a intervalos regulares al equipo de limpieza del aire de admisión.
- 2) Mantener en buenas condiciones el sistema de ventilación del cárter, lo cual ayuda a remover los materiales volátiles de bajo peso molecular, los cuales forman laca. Se le debe dar atención adecuada a los tapones de los respiraderos.
- 3) Mantener las temperaturas de operación apropiadas en el motor.
- 4) Comprobar frecuentemente el carburador para asegurar una relación correcta de aire a combustible. Asegurarse de que la regulación de calor en el múltiple está trabajando libremente y que el estrangulador automático no está actuando mal.
- 5) Mantener un consumo razonable de aceite con una buena atención a los anillos de los pistones y a la condición general del motor.
- 6) Mantener el aceite en buena condición con drenajes suficientemente frecuentes.
- 7) Usar un aceite de buena estabilidad con un mínimo de tendencias a la formación de goma, depósitos o carbón. Se recomiendan aceites de tipo detergente.
- 8) Usar combustible de buena calidad, con un bajo contenido de goma.

- 9) Ejercer un cuidado particular en la remoción de todas las partículas metálicas del interior del motor después de una operación de inspección o reconstrucción.
- 10) Cambiar el aceite a intervalos frecuentes para los primeros cambios en los motores nuevos o reconstruidos.
- 11) Cuando se cambie de una marca de aceite a otra, lávese el cárter y el motor con el mismo tipo de aceite que se va a instalar, agregando el aceite limpio después de drenar el usado para el lavado.
- 12) Limpiar el filtro de aceite o cambiar su elemento a intervalos regulares de modo que nunca esté obstruido.

La frecuencia correcta de los cambios de aceite es un asunto complejo, ya que implica varios factores, de los cuales los más importantes son:

- 1) El tipo de operación bajo la cual funciona el motor.
- 2) La calidad del lubricante utilizado.
- 3) El diseño del motor.
- 4) La condición del motor.
- 5) La condición de los filtros de aire y de aceite.

Como en la mayoría de los casos no se cuenta con un laboratorio para realizar las pruebas requeridas para determinar con seguridad cuándo se debe drenar el aceite, es necesario confiar en las recomendaciones de los fabricantes y de las compañías petroleras. Su criterio está basado en años de experiencia, juntamente con un conocimiento íntimo de las características de funcionamiento del motor y de la capacidad de los lubricantes bajo varias condiciones de operación.

En las grandes plantas es recomendable analizar muestras del aceite lubricante, tomadas en el momento de cambiarlo, en un laboratorio bien equipado. Dicho análisis puede revelar condiciones a las cuales el aceite ha sido expuesto y que pueden haber escapado a la atención del operador. Mostrará, por ejemplo, si las temperaturas adecuadas de agua y aceite fueron mantenidas, qué cantidad de polvo entró en el motor, si hay fugas de agua, cuán efectivamente está funcionando el sistema de filtración de aceite, si la infiltración de los gases de combustión hacia el cárter es considerable y si el aceite está siendo cambiado con la frecuencia necesaria.

El análisis debe ser realizado para determinar las siguientes características:

1. **VISCOSIDAD.** Normalmente la viscosidad del aceite usado es mayor que la del aceite nuevo debido a la evaporación de las porciones más livianas y a la oxidación. Si en embargo, la dilución del aceite por el combustible infiltrado tiene una tendencia a disminuir la viscosidad.
2. **PRODUCTOS DE LA OXIDACION.** Si se han formado en el aceite durante un cierto período de servicio, indican cuán estable es el aceite y si se hizo el cambio a tiempo.
3. **PUNTO DE DESTELLO.** El punto de destello o flash point de un aceite es la

temperatura a la cual el aceite produce vapores en suficiente cantidad para formar un destello momentáneo bajo ciertas condiciones estandarizadas cuando una llama es puesta en las cercanías de la superficie del aceite. Una disminución notable del punto de destello junto con una disminución de la viscosidad indican dilución del aceite por parte del combustible.

4. **CONTENIDO DE AGUA.** Generalmente el agua en el aceite del cárter es debida a la condensación del vapor de agua de la combustión y a una cierta cantidad de infiltración de gases. Un excesivo contenido de agua puede ser debido a la infiltración del agua de enfriamiento.
5. **NUMERO DE NEUTRALIZACION.** Es el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar un gramo de aceite. Esta prueba con hidróxido de potasio mide solamente la cantidad de ácido presente y no su tipo. Algunos ácidos son más corrosivos a temperaturas elevadas que otros, de tal manera que el número de neutralización por sí solo, sin otros datos, no es una indicación de que el aceite ya no es utilizable. En la mayoría de los casos, un número de neutralización de 0.5 es considerado una indicación de que el aceite debe ser cambiado y un aceite con un número de neutralización de 0.9 es positivamente peligroso.
6. **NUMERO DE PRECIPITACION.** Esta prueba se hace para determinar la cantidad de sedimentos en el aceite usado. Representa el número de centímetros cúbicos de precipitado formado cuando 10 centímetros cúbicos del aceite lubricante son mezclados con 90 c.c. de nafta (nafta ASTM para precipitación) y centrifugados bajo condiciones prescritas. El aceite nuevo es completamente soluble en esta nafta. Después de usarlo en el motor, contiene varios contaminantes que son insolubles en la nafta. Cuando se considera conjuntamente con otros factores, el número de precipitación es muy útil en decidir cuándo un aceite ya no sirve como lubricante efectivo.
7. **CONTENIDO DE CENIZAS.** Este da la cantidad de sólidos minerales y metálicos en el aceite usado que no se queman. Como algunos materiales son más peligrosos que otros, se necesita un criterio experto para interpretar los datos obtenidos en esta prueba.

COJINETES

Cualquier cojinete de motor debe estar separado de su eje por una película de aceite. Por esta razón, debe proporcionarse el espacio correcto entre el eje y el cojinete, en el cual pueda formarse dicha película de aceite. Como el eje en rotación crea una cantidad considerable de calor por fricción, este espacio de juego libre debe ser suficiente para permitir al aceite fluir a través del cojinete, de tal manera que el aceite frío esté reemplazando constantemente al que ha sido calentado. El aceite no sólo lubrica, también enfría el cojinete y una función es tan importante como la otra.

Un cojinete con el espacio libre adecuado para el aceite, suelta una cantidad controlada de aceite por los lados, la cual es llamada "expulsión"; esto es debido a la acción de giro del eje. Esta expulsión de aceite lubrica otras piezas móviles del motor. De esta manera, el cojinete es una unidad muy importante en el conjunto del motor y debe ser diseñado y fabricado con precisión para asegurar un flujo y expulsión de aceite exactos para estos propósitos. Si los cojinetes principales son montados con un espacio libre demasiado escaso, piezas tales como las paredes de los cilindros, los pistones, las válvulas, las guías de las válvulas y los pasadores de los pistones, se verán privados de lubricación. Si un cojinete principal es montado con demasiado espacio libre, ocurrirá una expulsión excesiva, la cual a veces ni los mejores anillos nuevos pueden controlar. El exceso de aceite entra en la cámara de combustión, en donde es quemado. Este aceite quemado se convierte en carbón y barniz, el cual se deposita sobre los pistones, paredes y válvulas. Estos depósitos obstruyen las acanaladuras de los anillos, obstaculizan los agujeros de retorno para el aceite, ensucian las bujías, evitan que las válvulas asienten adecuadamente y forman una superficie aislante que impide una buena disipación del calor. Y a medida que el espacio libre aumenta, la expulsión de aceite aumenta a una razón mucho mayor.

Normalmente, el uso cuidadoso de los micrómetros hace innecesario medir los espacios libres en los cojinetes. Cuando se necesita medirlos, esto puede ser realizado usando un fino cordel plástico especialmente moldeado y fabricado comercialmente, el cual por supuesto, puede ser usado en cualquiera otra determinación del espacio libre entre dos piezas. El cordel es una tira plástica relativamente larga y suave. Se corta una longitud de aproximadamente 1/8 de pulgada más corta que el cojinete y se coloca sobre la superficie de carga, o sobre el eje, después de haber limpiado perfectamente las piezas para eliminar el aceite. Después de armar el cojinete y la tapa y de apretarlos al torque recomendado, se retiran la tapa y el cojinete. El ancho del cordel que ha sido aplastado en el espacio de juego libre del aceite, puede ser relacionado directamente al espacio libre del aceite comparándolo con una escala de anchuras que viene en la cubierta del paquete del producto. También puede usarse para el mismo propósito un alambre de plomo, midiendo entonces el aplastamiento de éste con un micrómetro.

Las chumaceras pueden fallar en varias formas. Pueden fundirse debido a temperaturas anormales; pueden agrietarse o desmenuzarse por falta de unión adecuada con el respaldo de acero, por debilidad estructural en la chumacera misma, por falta de rigidez en el apoyo, la cual somete a la camisa a doblegamiento continuo, por sobrecarga y la consecuente fatiga, lo cual tiene un efecto similar; y por último, pueden fallar por corrosión.

Las chumaceras quemadas no son comunes. Como tales, pueden ser llamadas más adecuadamente "fundidas", porque lo que realmente sucede es que, por alguna razón, la temperatura del cojinete sube más allá del punto de fusión del material de revestimiento. El resultado es que dicho material se sale y deja al eje libre de tal manera que choca y golpea contra el respaldo de acero o bronce. A menos que se detenga inmediatamente el motor, puede ocurrir una seria avería. Una dificultad de este tipo es casi invariablemente el resultado de una interrupción del suministro de aceite o, con

chumaceras recién colocadas, de un espacio libre inadecuado. Cuando ocurre una falla de un cojinete de una biela, no es suficiente su reemplazo; es necesario investigar las condiciones del cojinete principal adyacente. El cojinete principal que surte de aceite al cojinete de la biela puede estar tan gastado, que no puede mantener la necesaria presión de aceite y la biela sufrirá la falta de lubricación. Siempre que una chumacera se funda, es muy importante desarmar el cojinete principal adyacente para limpiar las partículas metálicas en el tubo de interconexión. Antes de reemplazar un cojinete principal, se deben limpiar siempre los conductos del aceite y el agujero a través del cigüeñal hasta el muñón del excéntrico.

Las fallas por fatiga son influenciadas por muchos factores, pero entre los más importantes están los filetes inadecuados, los hoyos en el material, la inclusión de material extraño en la fundición original, o rugosidad de la superficie o grietas en la misma. Con los cojinetes, la falta de un ajuste adecuado de la camisa o buje interior en la biela o el cigüeñal, un mal acabado de la instalación, material extraño entre las dos superficies y cojinetes mal fabricados, son las causas comunes de fallas por fatiga. Si existe una concentración de carga en cualquier punto, que sobrepase el límite de resistencia permanente del material, la falla del metal ocurrirá eventualmente en dicho punto. Esto inicia una grieta que aumenta de tamaño hasta que el metal restante es cargado más allá de su resistencia a la ruptura.

Es posible que la corrosión de los cojinetes de cobre-plomo ocurra a muy altas temperaturas a través de la acción de ácidos formados por la oxidación del aceite, ya que estos disuelven gradualmente el plomo. El plomo en las superficies afectadas de tales cojinetes es atacado por ciertos ácidos orgánicos complejos del petróleo formados en el aceite, convertidos en jabón con base de plomo y retirados por lavado, dejando una estructura de cobre picada y porosa, la cual pronto se rompe. Los cojinetes de metal babbitt antifricción no parecen ser afectados por condiciones que frecuentemente causan fuerte corrosión o pérdida de plomo en las chumaceras cobre-plomo. En otras palabras, una falla por corrosión en una chumacera de metal blanco babbitt, es extremadamente rara.

A continuación se dan algunas reglas de seguridad concernientes a los cojinetes:

1. Nunca se use un motor cuando se sabe que sus cojinetes están en mal estado, a menos que sea absolutamente necesario.
2. El rápido calentamiento de un cojinete es una señal de peligro. Si le toma a un cojinete una hora o más el alcanzar una temperatura estable, aunque ésta sea demasiado caliente para que la mano la soporte cómodamente, el cojinete está probablemente bien. Pero si la misma temperatura es alcanzada en 10 ó 15 minutos, no se detendrá allí y puede causar problemas.
3. Nunca se permita que un cojinete principie a humear. Cuando un cojinete se calienta, tómense medidas para enfriarlo o deténgase el motor.
4. Si un cojinete está demasiado caliente, debe desconectarse inmediatamente la

carga y disminuir la velocidad de operación del motor sin detenerlo completamente. Luego se hace llegar aceite al cojinete.

5. Nunca se debe derramar agua sobre el cojinete, porque entonces éste se contraería prensando al eje y sometiénolo a una carga de torsión que podría llegar a romperlo.
6. Usense trapos limpios, no desperdicios, para limpiar un cojinete después de abrirlo.
7. No se aplique aceite en un agujero de lubricación sin antes comprobar si está abierto y no obstruido con suciedad.
8. Cuando se use una aceitera, asegurarse de que ésta contiene el tipo correcto de aceite y que la abertura del surtidor no está obstruida.
9. No olvidar darle servicio a un cojinete que está en un lugar inaccesible o lejano.
10. Todos los cojinetes autolubricados con depósitos de aceite deben ser drenados, lavados y rellenados a intervalos regulares; todas las partes en rotación deben ser completamente aceitadas a mano antes de arrancar el motor.
11. Debe proveerse la grasa adecuada en la cantidad adecuada. Un cojinete no está bien lubricado sólo por el hecho de que tiene grasa.

of the ... in ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

... the ...

CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Al controlar los costos de mantenimiento, es importante cargar todo trabajo de este ramo al departamento en donde se realiza el mismo, porque entonces se podrá saber cuales son los departamentos cuyos costos son altos. Generalmente, los pequeños trabajos diarios son cargados a los departamentos a través de cuentas permanentes. Se le asigna un número de cuenta a cada tipo de trabajo hecho y los costos individuales de trabajo son cargados a la cuenta correspondiente. El reemplazo de un bombillo eléctrico es cargado a una cuenta para el mantenimiento eléctrico en el departamento respectivo. El reemplazo de un empaque en un grifo de agua que gotea es cargado al mantenimiento de plomería, etc. Por otra parte, el tiempo de los lavadores de ventanas, operadores de camiones, aceitadores y similares es cargado generalmente a una cuenta general para toda la planta, no al departamento de la fábrica en el cual se ha hecho el trabajo.

En muchas compañías pequeñas, los trabajadores de mantenimiento enumeran al final del día los trabajos que han realizado y el tiempo que han necesitado para cada uno, de tal manera que el departamento de contabilidad puede cargar el costo a la cuenta correspondiente. Pero en las grandes compañías, el encargado del mantenimiento hace una tarjeta de trabajo por separado para cada trabajo no cubierto por las cuentas permanentes. Cada tarjeta de trabajo recibe un número asignado por el oficinista del departamento de mantenimiento, para que los trabajadores puedan anotar su tiempo en ella.

La práctica de las compañías varía considerablemente con respecto a cargar los costos de los materiales a los pequeños trabajos individuales de mantenimiento. Pero hay dos buenas razones por las cuales los costos de los materiales usados no deben ser cargados a los trabajos pequeños. Primero, el trabajo de oficina necesario es considerable y el tiempo necesario para hacerlo, puede equivaler a varias veces el valor del material que se controla. Y segundo, los materiales usados en los trabajos pequeños de mantenimiento (masilla, vidrios de ventanas, cables eléctricos, tubos, pintura, etc.) no son empleados para hacer los productos de la fábrica y no se usan en gran cantidad. Simplemente no conviene mantener archivos de esta naturaleza.

Con respecto al costo del mantenimiento en general, es necesario tener en cuenta que los materiales variarán considerablemente con los trabajos realizados y que las plantas viejas generalmente necesitan más mantenimiento que las nuevas. Además, muchos proyectos de mantenimiento son postergables durante algún tiempo y las cifras varían año tras año en la misma compañía. La mayoría de las compañías mantiene en un mínimo sus gastos de mantenimiento en los años malos, para conservar dinero y para aparentar que los gastos fueron disminuidos. Luego efectúan los gastos necesarios faltantes en los años de bonanza. Otro problema con las cifras características de costos es que incluyen solamente los costos del departamento de mantenimiento y omiten el mantenimiento realizado por los empleados de los departamentos de producción.

La mayoría de las compañías grandes y pequeñas tratan de controlar sus gastos de mantenimiento por medio de presupuestos. Los costos esperados de reparación y del mantenimiento en operación del equipo de producción, son colocados en presupuestos separados para cada departamento de producción. El encargado de cada departamento es el responsable de mantener sus costos de mantenimiento dentro de la cantidad presupuestada. Los gastos principales y los proyectos grandes de reparación son cubiertos por presupuestos separados.

Si la producción aumenta o disminuye, los costos de mantenimiento no necesariamente deben cambiar proporcionalmente, aunque son afectados por el volumen de trabajo realizado. No siguen a los cambios en horas-hombre o en el número de empleados, ni varían en proporción a las áreas departamentales.

Los presupuestos deben mostrar a veces qué gastos son permitidos, mes por mes, durante todo el año futuro. Las cantidades son fijadas después de determinar cuáles serán las necesidades de mantenimiento en cada departamento y en qué mes serán subscritos. El departamento de mantenimiento debe estimar el tiempo de trabajo y los materiales requeridos para los diferentes trabajos y luego asignar las cantidades adecuadas. Estas estimaciones mensuales pasan usualmente a los directivos para ser revisadas y ellos posiblemente eliminarán algunos proyectos si creen que los costos son muy altos.

Durante el período del presupuesto, los costos de mantenimiento son colectados por el departamento de contabilidad, agrupados de acuerdo con las clasificaciones hechas en el presupuesto, resumidos por clases, comparados con la cantidad presupuestada y el valor indicado de la variancia. El reporte es estudiado, especialmente en aquellos puntos o clases que han sobrepasado la cantidad presupuestada. Frecuentemente una investigación de los reportes de presupuesto revela condiciones que pueden ser eliminadas en el futuro, con el resultado de que los costos de mantenimiento son reducidos.

Debe advertirse que, si los presupuestos son demasiado bajos, algunas cosas que necesitan reparación no la tendrán y esto puede prolongarse hasta que se necesiten grandes y costosas reparaciones. En otras palabras, no se deben ignorar indefinidamente algunos costos de mantenimiento en los presupuestos respectivos. En realidad, muchos costos de mantenimiento pueden ser pospuestos una y otra vez hasta que parece que se está ahorrando dinero. A veces esto sucede en realidad, especialmente en el caso de cosas tales como la pintura, la cual puede ser usada más de lo necesario, pero en la mayoría de los trabajos de mantenimiento, los ahorros aparentes pueden ser anulados cuando ocurre una falla o accidente grave. El mantenimiento de algunas unidades puede ser pospuesto únicamente como un riesgo calculado, tomando en cuenta que el valor de los costos del mantenimiento en general debe ser un óptimo y no un mínimo.

La orden de trabajo de mantenimiento constituye un elemento básico en cualquier sistema de control del mantenimiento. Debido a la idea tradicional de conservar en un mínimo los costos de mantenimiento y no en un óptimo, como debe ser, se duda acerca de la necesidad de la orden de trabajo de mantenimiento, aunque se reconoce la utilidad de la de producción. El sistema de órdenes de trabajo debe definir la naturaleza de los trabajos de mantenimiento aprobados y establecer un registro de tiempos que proporcione una identificación positiva de cada trabajo efectuado.

Una orden de trabajo puede ser simple o compleja según la cantidad de datos que debe contener y los usos a que se destine. En general, debe incluir lo siguiente: (1) una solicitud de trabajo a realizar, con espacio suficiente para una descripción de la dificultad; (2) una lista de los rangos probables del trabajo solicitado; (3) espacio para planificar las reparaciones y estimar el trabajo y materiales requeridos; (4) autorización de los departamentos de producción y mantenimiento e instrucción acerca de cuándo debe ser efectuado el trabajo; (5) espacio indicado para realizar un reporte del trabajo efectuado; (6) espacio indicado para la fecha, firma del mecánico y la aprobación del trabajo; y (7) espacio indicado para anotar el tiempo empleado y los costos.

El sistema de órdenes de trabajo deberá estar basado en la premisa de que ningún trabajo de mantenimiento puede ser efectuado sin autorización escrita. Para el trabajo repetitivo regular, se pueden crear órdenes permanentes que abarquen períodos fijos de tiempo. Estas órdenes cubren operaciones de rutina como las inspecciones, ajuste de máquinas, lubricación, limpieza de equipo, etc.

Las ventajas de un sistema de órdenes de trabajo son las siguientes:

- (1) Proporciona a la supervisión de mantenimiento los medios para calcular y programar el trabajo de acuerdo con los requisitos de la planta.
- (2) Permite al supervisor de mantenimiento analizar y programar su trabajo.
- (3) Ayuda a determinar qué tan necesario es un trabajo.
- (4) Proporciona un medio para clasificar los trabajos en lo que se refiere a costo, necesidades, magnitud, etc.

CONCLUSIONES

1. En la operación y mantenimiento de una planta industrial es necesario adoptar un programa de inspecciones periódicas adecuado para la planta en cuestión. Al elaborar dicho programa, deben tomarse en cuenta las recomendaciones de los fabricantes del equipo, las condiciones ambientales, la importancia de cada unidad, la economía, las condiciones de operación, etc. El cumplimiento estricto de este programa, conjuntamente con la operación adecuada de la maquinaria, garantizará el mejor funcionamiento posible de la planta.
2. Las técnicas de los ensayos no destructivos constituyen un valioso auxiliar para efectuar inspecciones de las piezas de maquinaria sometidas a fluctuaciones de esfuerzos y de los productos acabados de algunas industrias. Estas técnicas rinden beneficios tales que, de ser económicamente factible, es muy recomendable su utilización.
3. La lubricación de la maquinaria es un punto de suma importancia en la operación y mantenimiento de cualquier planta motriz. Es una medida necesaria y económicamente ventajosa el utilizar correctamente los lubricantes adecuados para cada tipo de máquina. Los períodos apropiados de lubricación y las clases de lubricantes necesarios en cada caso, deberán estar incluidos en el programa de inspecciones para un mantenimiento preventivo eficaz.
4. En el mantenimiento del equipo eléctrico es necesario evitar la suciedad, la humedad, los malos contactos y la fricción. Estas son las causas comunes de las fallas en todo equipo eléctrico.
5. Es conveniente llevar un archivo de costos de mantenimiento porque los gastos efectuados para recabar los datos necesarios para el archivo, serán pequeños en comparación con las economías que se logran.

José Joaquín Garoz Cabrera

Vo. Bo.:

(f) Ing. Sigurd Moglebust Ch.
Asesor

Vo. Bo.:

(f) Ing. Francisco Billeb V.
Director Escuela Mecánica-Industrial

IMPRIMASE:

(f) Ing. Hugo Quan Má
DECANO

BIBLIOGRAFIA

1. Plant Engineering Handbook
Stanlar, William (editor)
McGraw-Hill.
2. Maintenance Engineering Handbook
Morrow, L. C. (editor)
McGraw-Hill.
3. Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 7th. ed.
Baumeister, Theodore (editor)
McGraw-Hill.
4. The Testing and Inspection of Engineering Materials
Davis, Troxell & Wiskocil
McGraw-Hill.
5. Principles of Penetrants
Betz, Carl E.
Magnaflux Corporation.
6. Folletos e Instructivos de Branson Industries Inc. y
Magnaflux Corporation.
7. Preventive Maintenance of Electrical Equipment
Hubert, Charles E.
McGraw-Hill.
8. Electrical Maintenance and Repairs
Watts, J. L.
Cleaver-Hume Press Ltd., Londres.
9. Westinghouse Maintenance Hints.
10. Motores de Combustión Interna
Edward F. Obert
CECSA, México.
11. The Practice of Lubrication, 4th. ed.
Thomsen
McGraw-Hill.