



---

# EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA

Manual de mantenimiento  
Primera edición



Iniciativa de Agua y Saneamiento



Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático



**Banco Interamericano de Desarrollo**

# **EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA**

## **Manual de mantenimiento**

Primera edición

Iniciativa de Agua y Saneamiento  
Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático  
Washington, D.C.  
2011

La producción de esta publicación estuvo a cargo de la Oficina de Relaciones Externas del BID.

© Banco Interamericano de Desarrollo, 2011. Todos los derechos reservados.  
Las opiniones expresadas en esta publicación pertenecen a los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del BID.

Para mayor información o consultas, por favor dirigirse a: [agua@iadb.org](mailto:agua@iadb.org) o [secci@iadb.org](mailto:secci@iadb.org).

IDB-MG-113

# CONTENIDO

PRESENTACIÓN . . . . .	XI
RESUMEN EJECUTIVO . . . . .	V
DEFINICIONES . . . . .	VII
SIMBOLOGÍA . . . . .	VIII
INTRODUCCIÓN . . . . .	1
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Prerequisitos de seguridad para mantenimiento . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Mantenimiento predictivo . . . . .</b>	<b>3</b>
Mantenimiento predictivo al transformador . . . . .	3
Mantenimiento predictivo al centro de control del motor . . . . .	5
Mantenimiento predictivo a la red de tierra física . . . . .	6
Mantenimiento predictivo al motor . . . . .	7
Mantenimiento predictivo de la bomba . . . . .	8
Mantenimiento predictivo al tren de descarga . . . . .	9
Mantenimiento predictivo de válvulas . . . . .	10
Mantenimiento predictivo de pozos . . . . .	10
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Mantenimiento preventivo . . . . .</b>	<b>11</b>
Mantenimiento preventivo al transformador . . . . .	11
Mantenimiento preventivo al centro de control del motor . . . . .	12
Mantenimiento preventivo de la bomba . . . . .	14
Mantenimiento preventivo al tren de descarga . . . . .	15
Mantenimiento preventivo de válvulas . . . . .	16
Mantenimiento predictivo de pozos . . . . .	17
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Mantenimiento correctivo . . . . .</b>	<b>18</b>
Mantenimiento correctivo al transformador . . . . .	18
Mantenimiento correctivo al centro de control de motores . . . . .	19
Mantenimiento correctivo a motores . . . . .	19
Mantenimiento correctivo al sistema de tierras . . . . .	20
Mantenimiento correctivo en bombas . . . . .	21
Mantenimiento correctivo a válvulas . . . . .	21
<b>Capítulo 5</b>	
<b>Plan de mantenimiento . . . . .</b>	<b>22</b>
Inventario del equipo y de las instalaciones . . . . .	22
Actividades y frecuencia de ejecución . . . . .	23
Programa de mantenimiento . . . . .	25
<b>Capítulo 6</b>	
<b>Identificación de problemas . . . . .</b>	<b>26</b>
Inspección visual y auditiva . . . . .	26
Análisis del sistema eléctrico . . . . .	27
Análisis del sistema hidráulico . . . . .	32
Análisis de temperaturas . . . . .	32
<b>Apéndice</b>	
<b>Metodología para la auditoría del mantenimiento . . . . .</b>	<b>35</b>
Recolección de datos . . . . .	37



## PRESENTACIÓN

Con el propósito de mejorar el servicio de agua potable que se brinda a la sociedad de los países de América Latina, a través del desarrollo de una metodología regional de eficiencia energética y mantenimiento que pueda ser aplicada por empresas de agua, en el marco del Programa de Cooperación Técnica “Eficiencia Energética en Empresas de Agua y Saneamiento en Centroamérica” financiado por el Fondo Especial de Operaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se ha contado con los servicios de consultoría de Econoler Internacional y Alliance to Save Energy, con el fin de desarrollar dicha metodología de eficiencia energética y mantenimiento en el sector de agua y saneamiento. La presente publicación corresponde al Evaluación para sistemas de agua: manual de mantenimiento. También están disponibles la La guía para la hoja de cálculo de eficiencia energética y el Manual de eficiencia energética para sistemas de bombeo.

La elaboración del presente manual fue dirigida por la Unidad de Energía Sostenible y Cambio Climático (ECC) y la División de Agua y Saneamiento (WSA), por Christoph Tagwerker (ECC), Marcello Basani (WSA), Rodrigo Riquelme (WSA) y Gerhard Knoll (WSA). El trabajo fue desarrollado por las firmas Econoler Internacional y Alliance to Save Energy, dirigidas por los ingenieros Arturo Pedraza y Ramón Rosas.

Iniciativa de Agua y Saneamiento  
Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático



## RESUMEN EJECUTIVO

El Plan Integral de Mantenimiento (PIM) de un sistema de agua y saneamiento implica el desarrollo de una secuencia ordenada de actividades para mantener los equipos y las instalaciones en condiciones óptimas todo el tiempo. El PIM en esencia está integrado por los siguientes tres elementos:

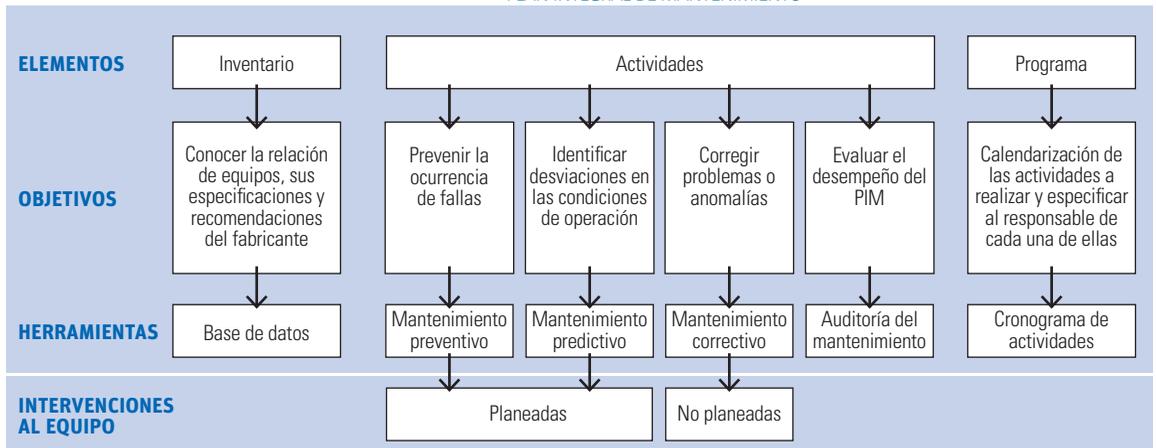
- Inventario de equipos, que debe incluir la especificación del equipo y sus componentes, así como también las recomendaciones de operación y mantenimiento que el fabricante emita.
- Definición de actividades y frecuencia de ejecución, estructuradas de acuerdo con el objetivo que se persiga en cuanto a la actividad de que se trate.
- Programa de trabajo, que en esencia es una matriz con fechas en un eje y actividades en el otro, en el que además se especifica la persona responsable de cada una de las actividades.

Las actividades de mantenimiento se dividen en cuatro tipos, según el objetivo específico que se persiga con cada una de ellas:

- Actividades con el objetivo de prevenir problemas. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es el **mantenimiento preventivo**. Dentro de las principales actividades que se practican como parte de este tipo de mantenimiento cabe destacar: inspección al equipo, limpieza, lubricación y sustitución de componentes.
- Actividades con el objetivo de identificar problemas. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es el **mantenimiento predictivo**. Este mantenimiento está basado en el monitoreo, registro y análisis del comportamiento de las principales variables de operación del equipo y de las instalaciones, con la finalidad de verificar que su funcionamiento sea el correcto y, en caso de que se presente una desviación de las condiciones de operación normales, programar las actividades correctivas correspondientes.
- Actividades con el objetivo de corregir problemas. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es el **mantenimiento correctivo**. Las actividades de este tipo de mantenimiento pueden ser planeadas o no planeadas. Las actividades planeadas son aquellas que se programan como resultado de la identificación de algún problema potencial y las no planeadas son aquellas que hay que realizar para corregir o reparar una falla en el equipo.
- Actividades con el objetivo de evaluar el desempeño del PIM. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es la **auditoría del mantenimiento**. Esta implica la recolección y el relevamiento de datos, la medición de parámetros de funcionamiento, y la evaluación del plan de mantenimiento que se lleva a cabo en las instalaciones. En base a ello, se determinan las acciones de mejora a realizar para garantizar un servicio continuo de los equipos y evitar la reducción de eficiencia de los mismos.

**GRÁFICO i** Proceso del Plan Integral de Mantenimiento

PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO



## DEFINICIONES

Las definiciones de términos que se exhiben enseguida tienen por objeto proporcionar una idea común entre los usuarios del manual, de tal manera que todos manejen los mismos conceptos expuestos.

**Apartarrayos.** Dispositivo de protección que deriva a tierra descargas eléctricas atmosféricas.

**Bomba.** Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua.

**Capacitor.** Dispositivo formado por dos placas o láminas, separadas por un material dieléctrico, que sometidas a tensión eléctrica adquieren una determinada carga eléctrica.

**Carga total de bombeo.** Es la suma algebraica de la carga de presión en la descarga, más el nivel de succión, más el nivel al centro del manómetro, más las pérdidas friccionales y singulares en la conducción, más la carga de velocidad.

**Conductor eléctrico.** Es un hilo de cobre, aluminio u otro metal, que tiene la particularidad de ser buen conductor de la energía eléctrica.

**Corriente eléctrica.** Es la intensidad de corriente que pasa a través de un conductor con resistencia  $R$  y cuya tensión eléctrica es  $V$ .

**Cuchilla.** Es un dispositivo para abrir un circuito sin carga.

**Electrodo de tierra.** Conductor (generalmente se trata de varillas, tubos o placas) enterrado en el suelo para disipar corrientes de falla.

**Elevación de temperatura al transformador.** Datos de placa que expresan la diferencia o el incremento máximo del transformador con respecto a un valor promedio de temperatura ambiente.

**Envejecimiento del aislamiento.** Rápida disminución de la calidad del aislamiento y, en consecuencia, de la vida útil de un equipo.

**Factor de potencia.** Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, y describe la relación entre la potencia convertida en trabajo útil y real, y la potencia total consumida.

**Gasto.** Volumen de agua medido en una unidad de tiempo, que generalmente se expresa en litros por segundo.

**Interruptor.** Dispositivo con capacidad de desconectar un circuito con carga.

**Línea de alimentación.** Conductores por medio de los cuales es suministrada la energía eléctrica.

**Mantenimiento correctivo.** Conjunto de acciones ejecutadas para subsanar una disfunción o una falla que afecta la operación de un sistema.

**Mantenimiento predictivo.** Técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse justo antes de que falle.

**Mantenimiento preventivo.** Conjunto de acciones destinadas a prevenir la aparición de fallas que afecten la operación del sistema de bombeo.

**Material dieléctrico.** Material que no conduce electricidad.

**Nivel a centros de manómetro.** Es la distancia vertical entre el nivel de referencia y la posición del manómetro usado para medir las cargas de presión tanto en la succión como en la descarga.

**Nivel de referencia.** Es el nivel seleccionado como referencia para todas las mediciones hidráulicas; normalmente es el plano inferior de la placa base de montaje del equipo de bombeo.

**Nivel de succión.** Es la distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.

**Punto caliente.** Punto de máxima temperatura en la superficie exterior de un equipo o aparato.

**Reactancia capacitiva.** Resistencia ofrecida al paso de la corriente alterna por parte de capacitores (condensadores) puros, esto es: sin resistencias internas.

**Reactancia inductiva.** Resistencia ofrecida al paso de la corriente alterna por parte de inductores (bobinas) puros, esto es: sin resistencias internas.

**Resistencia de aislamiento.** Resistencia ofrecida por un material aislante al flujo de la corriente eléctrica producida al aplicarle un voltaje continuo.

**Rigidez dieléctrica del aceite.** Propiedad del aceite al oponerse al paso de la corriente eléctrica.

**Subestación compacta.** Transformador integrado dentro de un gabinete metálico que permite que las personas puedan tocarlo exteriormente sin correr riesgos.

**Temperatura de diseño.** Es la temperatura máxima que puede soportar un equipo o componente.

**Tensión eléctrica.** Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación para que la corriente eléctrica circule.

**Transformador.** Aparato para elevar o reducir las tensiones eléctricas.

**Válvula.** Dispositivo mecánico que se emplea para detener o controlar un flujo de agua en tuberías a presión.

**Vida útil.** Tiempo en el cual se estima que la obra o elemento del proyecto funciona adecuadamente.

## SIMBOLOGÍA

A lo largo del manual se emplean los siguientes símbolos:

**DBI.** Desbalance de corriente (-).

$I_A$ . Corriente de la fase A (A).

$I_B$ . Corriente de la fase B (A).

$I_C$ . Corriente de la fase C (A).

$I_{prom}$ . Corriente promedio de las tres fases (A).

**DBP.** Desbalance de potencia (-).

$P_A$ . Potencia de la fase A (kW).

$P_B$ . Potencia de la fase B (kW).

$P_C$ . Potencia de la fase C (kW).

$P_e$ . Potencia eléctrica demandada por el motor (dato obtenido en mediciones de campo) (kW).

$P_{prom}$ . Potencia promedio de las tres fases (kW).

**HP<sub>nom</sub>.** Potencia nominal del motor (la real verificada en campo) (HP).

**DBV.** Desbalance de voltaje (-).

$V_{A-B}$ . Tensión entre las fases A y B (V).

$V_{B-C}$ . Tensión entre las fases B y C (V).

$V_{C-A}$ . Tensión entre las fases C y A (V).

$V_{placa}$ . Valor de voltaje nominal de alimentación, indicado en la placa (V)

$V_{prom}$ . Voltaje promedio entre fases (V).

**VDN.** Diferencia porcentual entre el valor del voltaje de alimentación y el dato de placa del voltaje nominal (-).

$X_C$ . Reactancia capacitiva en Ohms ( $\Omega$ ).

$\eta_m$ . Eficiencia de operación del motor (-).

## HIDRÁULICOS

$DQ_b$ . Desviación de la carga hidráulica respecto de la de diseño.

$D_{r-m}$ . Nivel de referencia a centros del manómetro (m).

**FC.** Factor de carga de operación del motor (-).

$H_{FS}$ . Pérdidas por fricción en la tubería de succión.

$H_T$ . Carga total de bombeo (mca).

$H_v$ . Carga de velocidad (mca).

**l.p.s.** Unidad de medida del flujo de agua en litros por segundo (l/s).

**mca.** Unidad de presión manométrica en metros de columna de agua.

**Ns.** Nivel de succión (m).

$P_d$ . Presión de descarga medida ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$P_s$ . Presión de succión medida ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$Q_b$ . Gasto hidráulico de diseño de bombeo (l/s).



## INTRODUCCIÓN

**R**ealizar un Plan Integral de Mantenimiento (PIM) en un sistema de agua y saneamiento implica integrar el mantenimiento mediante el desarrollo de una secuencia ordenada de actividades para mantener los equipos y las instalaciones en condiciones óptimas todo el tiempo.

Por otra parte, realizar una auditoría de mantenimiento (AM) en un sistema de agua y saneamiento implica la recolección y relevación de datos, mediciones de parámetros de funcionamiento, y conocer el plan de mantenimiento que se lleva a cabo en las instalaciones; en base a ello se determinan las acciones de mejora a realizar, lo cual garantiza un servicio continuo de los equipos y conjuntamente evita las reducciones de eficiencia en los mismos.

El documento está estructurado en seis capítulos y un apéndice. En el capítulo 1, se presentan los requisitos de seguridad para mantenimiento. En los capítulos 2, 3 y 4, se tratan los temas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo respectivamente. En el capítulo 5 se habla acerca del plan de mantenimiento, y en el capítulo 6, de la evaluación del mantenimiento de la empresa. Por último, en el apéndice se presenta la metodología para llevar a cabo una auditoría del mantenimiento de una empresa de agua y saneamiento.



## Capítulo 1

# PREREQUISITOS DE SEGURIDAD PARA MANTENIMIENTO<sup>1</sup>

**A**ntes de cualquier trabajo de mantenimiento para equipos eléctricos hay que asegurarse de que el personal no esté en peligro de recibir una descarga eléctrica. El siguiente es un procedimiento básico para apoyar el desarrollo de procedimientos de seguridad específicos:

- Cuando los dispositivos de desconexión no se pueden bloquear, se puede utilizar el etiquetado de seguridad, siempre y cuando la empresa de agua cumpla con las normas que requieren capacitación adicional.
- Cuando se utiliza el etiquetado de seguridad y los dispositivos de desconexión se pueden bloquear, la empresa de agua debe proporcionar un set de seguridad laboral completo para los empleados, formación adicional y controles periódicos más rigurosos.

### Procedimiento típico de bloqueo mínimo

Este procedimiento establece los requisitos mínimos para la desconexión, enlace o bloqueo de dispositivos (tableros eléctricos) cada vez que se realiza el mantenimiento o servicio en las máquinas o equipos.

El procedimiento debe utilizarse para asegurar que la máquina o el equipo se detenga y/o esté desconectado de todas las fuentes de energía con riesgo de descarga eléctrica. También se debe verificar que la máquina o el equipo esté bloqueado antes de que los empleados realicen reparaciones o mantenimiento en condiciones con riesgo de descarga eléctrica, por ejemplo al reenergizar o poner en marcha la máquina o el equipo, o liberar energía almacenada por algún mecanismo.

Todos los empleados están obligados a cumplir con las restricciones y limitaciones impuestas durante el bloqueo.

Los empleados autorizados a realizar las actividades de servicio y mantenimiento están obligados a realizar el bloqueo de conformidad con este procedimiento.

Ningún empleado puede reenergizar, arrancar o utilizar la máquina o el equipo al observar una indicación correspondiente al bloqueo de la máquina o un equipo para realizar servicio o mantenimiento.

Los empleados que trabajan en el mantenimiento de las máquinas o los equipos eléctricos deben llevar un detector de presencia de tensión en su bolsillo para comprobar que su ambiente de trabajo es seguro y que no hay exposición a circuitos energizados.

### Supresión de la tensión

1. Notificar a todos los empleados afectados por el servicio o el mantenimiento de una máquina o equipo que la máquina o el equipo deben ser apagados y bloqueados para realizar los trabajos respectivos. Se debe preparar un registro con el nombre y título de empleados afectados y el método de notificación respectivo.
2. El empleado autorizado debe referirse al procedimiento de la empresa para identificar el tipo y la magnitud de la salida de servicio de la máquina o el equipo, y deberá comprender los peligros y conocer los métodos para controlar la energía.
3. Si la máquina o el equipo está en funcionamiento, es recomendable apagarla mediante el procedimiento de parada normal manual o automática (pulsar el botón de parada, interruptor abierto, cierre de válvula, etc.).
4. Desactivar el dispositivo de conexión de energía(s) de manera que la máquina o el equipo esté aislado de la fuente de energía(s).

<sup>1</sup> [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9805](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9805).

5. Bloquear/enclavar el dispositivo de conexión de energía(s).
6. El empleado autorizado debe asegurarse de la inexistencia de energía residual o almacenada (por ejemplo, en condensadores, muelles, volantes, sistemas hidráulicos y sistemas de presión a aire, gas, vapor, o agua, etc.); o en su caso, debe asegurarse de activar los mecanismos para que la energía sea bloqueada/disipada por métodos tales como conexión a tierra, reposicionamiento, bloqueo, etc.
7. Es necesario comprobar que la máquina o el equipo estén desconectados de la fuente de energía. En primer lugar, hay que comprobar que el personal no esté expuesto y, en segundo lugar, que los equipos estén desenergizados. Este procedimiento se realiza encendiendo el botón de operación normal manual o automático. Para comprobar que el equipo no esté energizado se utiliza un detector de tensión u otro instrumento adecuado.  
Precaución: devolver el control operativo a la posición neutral o “off “ después de comprobar el aislamiento de los equipos.
8. Puesta a tierra y en cortocircuito de todas aquellas posibles fuentes de tensión en el lado desenergizado.
9. La máquina o el equipo está bloqueado.

### **Reposición de la tensión.**

Cuando el servicio o mantenimiento se ha completado y la máquina o el equipo están listos para regresar a condiciones normales de funcionamiento, se seguirán los siguientes pasos:

1. Revisar la máquina o el equipo y el área alrededor circundante para asegurarse de que los elementos temporales para dar servicio o mantenimiento se hayan dispuesto fuera del área de operación, y que los componentes operativos de la máquina o el equipo estén intactos.
2. Verificar el área de trabajo para garantizar que todos los empleados se desplazaron de la zona.
3. Verificar que los controles están en punto neutral (posición de apagados).
4. Retirar si la hubiera, de la Puesta a Tierra y en cortocircuito.
5. Quitar los dispositivos de bloqueo y reconectar la máquina o el equipo. Nota: retirar algunas formas de bloqueo puede requerir la reenergización de la máquina antes de la retirada misma.
6. Notificar a los empleados afectados que las prácticas de mantenimiento o servicio se han completado y que el equipo está listo para su uso normal.

## Capítulo 2

# MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo de un sistema de bombeo de agua está basado en el monitoreo, registro y análisis del comportamiento de las principales variables de operación del equipo y de las instalaciones, con la finalidad de verificar que su funcionamiento sea el correcto, y en caso de que se presente una desviación de las condiciones de operación normales, se programen las actividades correctivas correspondientes al equipo o componente.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL TRANSFORMADOR

### Medición y análisis de parámetros eléctricos

Esta tarea consiste en hacer periódicamente mediciones eléctricas al transformador por medio de equipos de mediciones digitales con memorias internas con la finalidad de detectar una anomalía y aplicar el mantenimiento correctivo. Las principales mediciones a realizar son las siguientes:

- Voltaje (volts) (usar voltímetro).
- Corriente (A) (usar amperímetro).
- Potencia eléctrica (kW) (usar vatímetro).
- Factor de potencia (FP) (usar cosenofímetro).
- Distorsión de armónicas (THD%) (usar analizador de red).
- Resistencia de aislación (usar megóhmetro).

Las mediciones deben realizarse mensualmente y en su ejecución se deben considerar las siguientes precauciones:

- Mantener las distancias mínimas de seguridad con las partes energizadas o en movimiento.
- Utilizar ropa y equipo de seguridad adecuados a las tensiones suministradas.
- No efectuar ningún tipo de reparación.

A partir de las mediciones de potencia eléctrica demandada, se calculará el factor de carga al que está trabajando el transformador.

Los transformadores trabajan con su máxima eficiencia entre el 35% y 40% de la carga. Sin embargo, su eficiencia es muy buena entre el 30% y 90% de la carga. No es recomendable que trabajen con factores de carga superiores al 90%, porque además de que la eficiencia cae ligeramente, ello puede ocasionar una disminución de la vida útil del transformador.

### Análisis fisicoquímico del aceite dieléctrico del transformador

Este análisis se debe efectuar para determinar cómo se encuentra el aceite dieléctrico, así como también las necesidades de procesarlo para que recupere sus características fisicoquímicas. Esta tarea debe realizarse anualmente.

El nivel de aceite dieléctrico debe medirse constantemente. La existencia de niveles bajos o altos puede provocar un calentamiento excesivo en el transformador.

## Medición de la resistencia del aislamiento

La medición de la resistencia del aislamiento debe realizarse una vez al año o antes, si se desea aprovechar los paros del transformador.

Los conductores con los cuales se devanan los transformadores deben estar perfectamente aislados para evitar que entren en contacto las espiras, las capas y las bobinas de alta y baja tensión entre sí, así como también las bobinas y el núcleo (frecuentemente identificado como tierra).

La calidad y el estado de los aislamientos son aspectos de especial interés en las pruebas de los transformadores, puesto que de ellos depende la vida útil del equipo.

La primera prueba para detectar el estado de los aislamientos es la medición de su resistencia, cuyo valor debe ser del orden de cientos de megaohms. Un valor bajo como resultado de la prueba indicaría la posible existencia de humedad en los aislamientos, y una lectura de cero Ohms indicaría un deterioro grande en algún punto del devanado, por donde se produce una fuga de corriente hacia otro elemento.

El aislamiento se debe medir:

- Entre los devanados de alta y baja tensión.
- Entre el devanado de alta tensión y tierra.
- Entre el devanado de baja tensión y tierra.

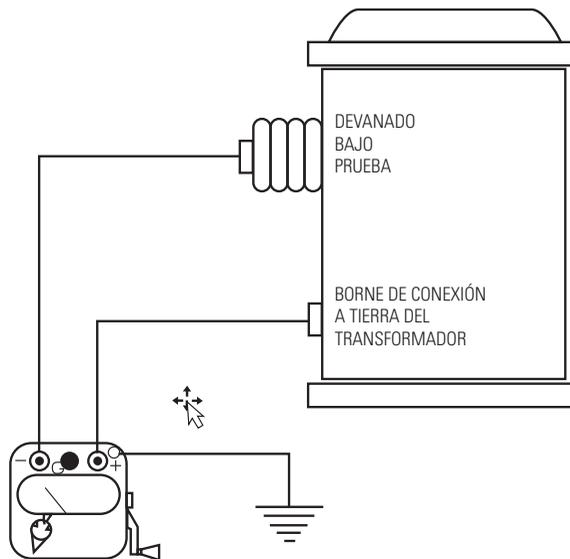
Para efectuar dichas medidas se emplea un tipo de megóhmetro. Se trata de un instrumento que genera altas tensiones (usualmente 500 ó 2.000 volts), y de acuerdo con la intensidad de las corrientes de fuga marca directamente en su carátula el valor de resistencia de aislamiento.

En vista de que las posibles fluctuaciones en el voltaje generado pueden inducir tensiones en los embobinados del transformador, que involucren algún error en la lectura, se recomienda poner en cortocircuito las terminales de alta tensión entre sí, y las de baja tensión entre sí.

Para realizar la prueba hay que proseguir de la siguiente manera:

- Consultar las instrucciones de manejo del megóhmetro.
- Identificar las terminales de alta tensión del transformador y por medio de un puente ponerlas en cortocircuito, lo mismo que las terminales de baja tensión.
- Localizar un punto donde sea factible hacer una buena conexión a tierra. Puede ser en el núcleo del transformador, si es accesible, o en el tanque, si aquel no lo es.

**GRÁFICO 2.1** Medición de la resistencia de aislamiento de transformador



Procedimiento:

1. Conectar el megóhmetro a las terminales de alta y baja tensión.
2. Excitar el megóhmetro, tomar la lectura y anotarla.
3. Conectar el megóhmetro a las terminales de alta tensión y tierra.
4. Excitar el megóhmetro, tomar la lectura y anotarla.
5. Conectar el megóhmetro a las terminales de baja tensión y tierra.
6. Excitar el megóhmetro, tomar la lectura y anotarla.

### Prueba de relación de transformación

La prueba de relación de transformación tiene como objetivo determinar algún daño a la bobina, basándose en la variación de su relación de transformación.

La relación de vueltas debe determinarse para todas las derivaciones, así como también para todas las posibles conexiones de los devanados del transformador.

La prueba de relación de transformación debe hacerse a tensión nominal o menor, y a frecuencia nominal o mayor y sin carga.

Para obtener la relación de transformación de transformadores, se hace uso de un equipo de prueba denominado TTR (*Test Turn Ratio*).

Los métodos de prueba utilizados por este equipo son:

- **Método de los dos voltímetros.** El aparato consta de cuatro terminales, dos de las cuales se conectan a la entrada y salida del embobinado de alta tensión, respectivamente, y las dos restantes

al embobinado de baja tensión; internamente el aparato realiza las mediciones de tensión entre la entrada y la salida (dos voltímetros). La relación entre voltajes es la relación de transformación. Esto se repite en las tres piernas del transformador, y los resultados deben coincidir.

- **Método del transformador patrón.** El TTR debe estar probado y certificado en laboratorio con un transformador patrón cuya relación de transformación se conoce previamente. La prueba se realiza sobre el mismo para determinar el grado de exactitud del TTR.

- **Método del puente de relación.** El puente de relación es el resultado que existe entre la relación de voltajes. La medición de la relación de espiras de un transformador trifásico consiste en mediciones monofásicas para determinar la relación entre espiras primarias y espiras secundarias de cada fase.

Para hacer una prueba de relación de transformación se debe asegurar que el transformador a probar se encuentre completamente desenergizado y desconectado, y se debe verificar que los interruptores y/o cuchillas de cada uno de los circuitos conectados a los devanados del transformador estén en posición abierta.

Si el transformador se encuentra cerca de un equipo energizado con alta tensión, hay que conectar a tierra una terminal de cada devanado y el TTR.

### **Análisis termográfico del transformador**

La termografía infrarroja es una técnica que permite ver la temperatura de una superficie con precisión sin tener ningún contacto con ella. Gracias a la relación directa entre radiación infrarroja y temperatura las mediciones de la radiación infrarroja se pueden convertir en mediciones de temperatura, verificando la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, y convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

El análisis termográfico consiste en efectuar una radiografía del espectro infrarrojo en el transformador; allí se notarán con distinto color las diferentes temperaturas, y se indicarán los componentes dañados. Se recomienda medir:

- Bote del transformador.
- Radiador.
- Conexiones y terminales mecánicas, incluidas las boquillas.

En caso de no contar con cámara termográfica, las mediciones se pueden realizar con un pirómetro infrarrojo.

## **MANTENIMIENTO PREDICTIVO A CENTRO DE CONTROL DEL MOTOR**

### **Inspección del equipo**

Mensualmente habrá que revisar que el gabinete del control a motores se encuentre en buenas condiciones, en lo que atañe a su pintura, acabado y ensamble. La tarea deberá incluir las siguientes actividades:

- Revisar el funcionamiento de las lámparas indicadores.
- Revisar que los equipos de medición den lecturas correctas.
- Tocar con la palma de la mano las puertas o costados de los gabinetes y superficies de frente muerto sobre todos los interruptores y desconectores; cualquier calentamiento que la mano detecte puede indicar un problema serio que se deberá identificar y eliminar.

### Análisis termográfico del control del motor

El análisis termográfico consiste en hacer una radiografía del espectro infrarrojo en el control de motor; así, se notarán con distinto color las diferentes temperaturas, y se indicarán los componentes dañados o conectores sueltos o mal apretados. El análisis debe efectuarse al menos en los siguientes puntos:

- Entrada al interruptor.
- Salida del interruptor.
- Entrada al arrancador.
- Salida del arrancador.
- Contactores y cualquier unión; la presencia de calentamiento anormal indica conexiones flojas.

### MANTENIMIENTO PREDICTIVO A LA RED DE TIERRA FÍSICA

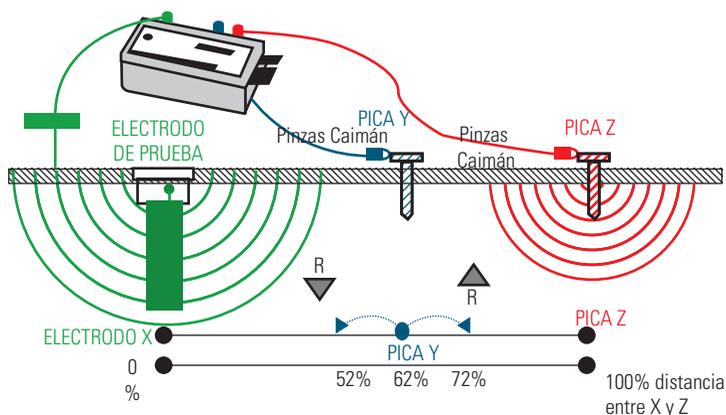
#### Resistencia eléctrica en la red de tierra física

La medición de la resistencia eléctrica en la red de tierra física se debe hacer al menos una vez al año, aunque lo recomendable es efectuarla cada seis meses.

Antes de realizar las mediciones se debe revisar que en el pozo o registro de tierra física haya un conductor y una varilla de tierra, y que ambos se encuentren unidos.

La medición en el sistema de tierra brinda un parámetro para asegurarse que siempre se tenga un bajo valor de resistencia eléctrica, lo cual facilita el paso de la corriente en caso de falla por descargas atmosféricas y contactos accidentales de conductores vivos con la carcasa del equipo; de esta manera, se protege al personal.

**GRÁFICO 2.2** Medición de la resistencia eléctrica a tierra



## Pruebas de continuidad en la red de tierra física

En el sistema de tierra se debe revisar:

- Que exista continuidad entre el conductor y el equipo aterrizado.
- Que el pozo contenga material intensificador de tierra física.
- Que el nodo de conexión sea soldable.

Se recomienda hacer pruebas de la red de tierra física anualmente; si el valor de la medición es superior a 5 Ohms, habrá que tratar con un producto intensificador para bajar la resistencia eléctrica, mejorar la “resistividad” de los terrenos y estabilizar la resistencia total de los electrodos.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL MOTOR

### Medición y análisis de parámetros eléctricos

Realizar continuamente mediciones en el motor permite detectar problemas que pueden ser corregidos fácilmente, entre los que cabe destacar:

- Voltaje distinto al de diseño del motor.
- Desbalance de voltaje.
- Desbalance de corriente.
- Desbalance de potencia.
- Presencia de distorsión armónica.
- Bajo factor de potencia.

En el monitoreo de estos parámetros se deben considerar las siguientes precauciones:

- Mantener las distancias mínimas de seguridad con las partes energizadas o en movimiento.
- Utilizar ropa y equipo de seguridad adecuados a las tensiones suministradas.

A partir de las mediciones de potencia activa demandada, habrá que calcular el factor de carga con el que está trabajando el motor. Un factor de carga bajo (menor al 40%) significará baja eficiencia de operación, y un factor de carga alto (mayor al 100%) traerá como consecuencia un envejecimiento acelerado del motor.

### Medición y análisis de vibraciones mecánicas en el motor

Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son: aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral. Los parámetros que se miden son:

- Frecuencia.
- Desplazamiento.
- Velocidad y aceleración.
- Dirección.

Estas mediciones se deben realizar en forma anual, con un medidor de vibraciones mecánico portátil.

Una vibración fuera de lo normal puede indicar:

- Anclaje de motor flojo.
- Desajuste o desalineación de acoplamientos, motor desnivelado o desbalanceado.
- Cojinetes en mal estado.
- Desgaste de componentes.
- Problemas de lubricación.

En las situaciones en que el personal de mantenimiento cuente con la experiencia necesaria para saber distinguir los diferentes ruidos que emite el motor y determinar la causa del problema, puede prescindirse del medidor de vibraciones.

### Pruebas de resistencia del bobinado

La medición de la resistencia de las bobinas tiene como principal objetivo detectar fallas. Se recomienda:

- Realizar las mediciones una vez al año.
- Tomar las medidas de seguridad adecuadas.
- Medir la resistencia de los devanados del motor, entre cada par de terminales del estator.
- Conectar las terminales de prueba al motor para medir la resistencia del bobinado con respecto a tierra; se hace la medición de cada fase a tierra.
- Si la conexión es estrella, y la lectura es de fase a fase, dividirla entre dos para obtener la resistencia óhmica por fase.
- Medir la temperatura a la que se hizo la medición.
- Mantener la conexión de la carcasa a tierra.

### Análisis termográfico en el motor

La medición se puede efectuar con una cámara termográfica o con un termómetro infrarrojo. Se debe medir:

- **Carcasa:** la temperatura excesiva implica en todos los casos un problema, como sobrecarga o daño a los devanados.
- **Rodamientos:** al igual que en el caso de la carcasa, las temperaturas elevadas implican un problema, como lubricación inadecuada, fricción y sobrecarga.

### Mediciones eléctricas en capacitores

Si se tienen bancos de capacitores para la compensación del factor de potencia, hay que medir mensualmente la corriente por fase para detectar posibles fallas de alguno de los capacitores del banco.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LA BOMBA

### Medición de presión y gasto

Se recomienda medir la presión y el gasto mensualmente, así como también calcular la carga de bombeo. Si el gasto y la carga de bombeo varían un 10% respecto de los del diseño en la bomba, hay que tomar medidas correctivas.

### Revisión del buje estopero

En cada ocasión en que la bomba entre en mantenimiento preventivo o correctivo, se recomienda buscar la existencia de desgaste en el manguito del eje, y si está rayado o ranurado, cambiarlo.

### Revisión del prensaestopa

La finalidad de un prensaestopa es eliminar fugas de líquido en la bomba e impedir la entrada de aire a los espacios de aspiración. Al efectuar su revisión, se debe buscar que no haya fugas de líquido o que estas sean mínimas. Si se trata de sellos mecánicos, no debe existir fuga, excepto por un breve período. Cuando se emplean prensaestopas, normalmente se presentará una pequeña fuga.

### Medición y análisis de vibraciones mecánicas en la bomba

Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son: aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente. Los parámetros que se miden son:

- Frecuencia.
- Desplazamiento.
- Velocidad y aceleración.
- Dirección.

El aumento en el valor de los parámetros listados indica desgaste, desalineación, desbalance mecánico, fallas en rodamientos, mala lubricación, etc. Estas mediciones se realizan con un medidor de vibraciones mecánicas portátil, y deben efectuarse al menos una vez al año.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL TREN DE DESCARGA

### Medición y análisis de vibraciones mecánicas en el tren de descarga

Como ya se ha especificado anteriormente, las consecuencias de las vibraciones mecánicas son: aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral. Al igual que en el caso del motor y de la bomba, los parámetros que se miden son:

- Frecuencia.
- Desplazamiento.
- Velocidad y aceleración.
- Dirección.

Estas mediciones se deben realizar anualmente, con un medidor de vibraciones mecánicas portátil. Las vibraciones fuera de lo normal pueden indicar:

- Tubería floja.
- Cavitación en válvulas.
- Transmisión de la vibración de la bomba.

En las situaciones en las que el personal de mantenimiento cuente con la experiencia necesaria para saber distinguir los diferentes ruidos y determinar la causa del problema, puede prescindirse del medidor de vibraciones.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE VÁLVULAS

### Inspección visual de válvulas

Se recomienda inspeccionar visualmente las juntas, conexiones y áreas de empaquetaduras o sellos, con la finalidad de detectar fugas.

### Medición y análisis de vibraciones mecánicas en las válvulas

Al igual que para los casos anteriormente descritos, las consecuencias de las vibraciones mecánicas son: aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral. Los parámetros más importantes que se miden en las válvulas son:

- Nivel de ruido.
- Frecuencia.

El nivel de ruido puede ser causado por tres razones:

- Vibración mecánica de las guarniciones.
- Líquido que ocasiona cavitación.
- Estrangulación de la válvula.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE POZOS

El mantenimiento predictivo de un pozo consiste en la ejecución periódica de dos actividades:

**1. Medición de niveles.** Se deben medir mensualmente los niveles estático y dinámico del pozo, así como también calcular la depresión del nivel (diferencia entre el nivel estático y el dinámico). Un incremento en la depresión del nivel suele deberse a obstrucciones en las ranuras y/o el gravero del pozo; si este es el caso, habrá que realizar una filmación de la zona y planear el mantenimiento del pozo.

**2. Filmación.** Se trata de introducir una cámara de video en el pozo para verificar a toda su profundidad libre el estado en que se encuentra. La actividad debe realizarse con un equipo especializado.

Después de efectuar un mantenimiento preventivo o correctivo del pozo, también se recomienda filmar los resultados.



## Capítulo 3

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo de una instalación de bombeo es el tipo de mantenimiento programado, que se lleva a cabo con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas. Dentro de las principales actividades que se practican como parte de este tipo de mantenimiento preventivo se cuentan:

- Inspección al equipo.
- Limpieza.
- Lubricación.
- Sustitución de componentes.

#### MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL TRANSFORMADOR

Para realizar cualquier trabajo con el transformador, hay que cerciorarse de que se encuentre desenergizado, y seguir el procedimiento de libranza.

##### Limpieza del área

Semanalmente se debe realizar una limpieza perimetral del área del transformador o de la subestación, retirando hojarascas, polvo y agentes que pudieran interferir con el funcionamiento correcto del transformador y/o de los equipos.

También habrá que limpiar los registros del sistema de tierra física y retirar cualquier obstrucción al mismo.

##### Limpieza del equipo

Durante la limpieza mensual del equipo habrá que conectar las terminales del transformador a tierra para evitar un posible contacto eléctrico.

Se recomienda lo siguiente:

- Limpiar cuanto menos una vez al mes con solvente dieléctrico o soluciones de agua o jabón suave (no usar detergentes ni solventes); para ello, adoptar todas las medidas de seguridad correspondientes, dotar al personal de detectores de potencial, guantes aislantes, etc.
- Retirar el polvo acumulado empleando un cepillo, una tela ligeramente humedecida en agua y de ser posible, aire a presión.
- Revisar que no existan daños ni chisporroteos por falta de ajustes en las terminales o conexiones del transformador.
- Revisar que no existan fugas de aceite en válvulas, radiadores, cordones de soldaduras, empaques, en el cambiador de derivaciones y en las protecciones, si las tiene.
- Revisar el estado de la pintura del transformador.
- Revisar si el transformador produce ruido o vibración anormal.

### **Reajuste de boquillas y terminales mecánicas**

En cada ocasión en que el transformador quede fuera de servicio, conviene programar el reajuste de boquillas y terminales mecánicas.

### **Purificado y filtrado del aceite dieléctrico**

El purificado y el filtrado del aceite del transformador también son fundamentales; estas tareas consisten en realizar pertinentemente el mantenimiento preventivo y dar vida útil al equipo, eliminar contaminantes en el aceite, y comprobar el cambio de coloración para determinar la contaminación del aceite. Se recomienda realizar estas tareas una vez al año, o bien antes si el aceite presenta una rigidez dieléctrica cercana al límite inferior. Este procedimiento lo debe llevar a cabo un laboratorio especializado.

### **Ventilación**

El transformador debe estar en un lugar bien ventilado. En caso de que se encuentre en un ambiente interior, hay que asegurarse de que tenga una buena ventilación para evitar calentamientos excesivos, lo que acorta su vida útil y reduce su eficiencia de transformación.

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL CENTRO DE CONTROL DEL MOTOR**

### **Limpieza de los tableros**

La limpieza de los tableros debe efectuarse anualmente, con el cuidado de revisar los diagramas de conexión y manuales necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.

Es importante aterrizar debidamente el tablero o las barras derivadoras durante el mantenimiento o la limpieza.

Componentes principales:

- Botonera de arranque y paro.
- Contactores de fuerza.
- Relevadores de sobre cargas eléctricas.
- Sistema de puesta a tierra.
- Interruptores y arrancadores.

Tareas clave por emprender:

- Limpiar las terminales de entrada y salida del interruptor y arrancador, y posteriormente reajustar mecánicamente.
- Humedecer una estopa o manta de cielo en tetracloruro o solvente dieléctrico para la limpieza en las superficies del tablero; no utilizar medios abrasivos.
- Limpiar el local del centro de control a motores para dejarlo libre de polvo y basura.

### **REAJUSTE DE TORNILLERÍA A TERMINALES MECÁNICAS**

Aplicar un reajuste de la tornillería en terminales mecánicas y eléctricas evita puntos calientes debidos a la resistencia de contacto; se recomienda realizar la actividad una vez al año como mínimo.

## Limpieza del motor

Es importante realizar el mantenimiento preventivo periódico por lo menos una vez al año para asegurar la vida útil del equipo. Se recomienda:

- Limpiar la superficie exterior y la rejilla de ventilación.
- Reponer y ajustar la tornillería de anclaje.
- Eliminar el óxido de la carcasa, retocar o pintar (si se va a repintar la carcasa, quitar primero la pintura anterior y asegurarse de que la capa de pintura sea delgada).
- Limpiar la caja de conexiones.
- Reajustar el cable de tierra en la caja de conexiones.
- Revisar las conexiones en las terminales del cable de fuerza.
- Revisar la alineación y el desgaste de las piezas del acoplamiento.
- Cambiar la grasa seca y sin aceite que ha perdido sus propiedades.

## Lubricación de rodamientos

El mantenimiento de los rodamientos permite conservar el equipo en buenas condiciones de trabajo, y evitar de esa forma paros innecesarios. Se recomienda engrasar los rodamientos semanalmente, e incluir en el proceso las siguientes actividades:

- Revisar los rodamientos frontales o verticales.
- Revisar los rodamientos inferiores u horizontales.
- Quitar, limpiar e instalar el tubo de desahogo de grasa; después aplicar grasa nueva, quitar el tubo de desahogo o descargar varias veces hasta que se vea que hay grasa en la cavidad de los rodamientos.

En el caso de motores pequeños, habrá que quitar las cubiertas o tapas del rodamiento, retirar la grasa seca y reponer hasta tres cuartas partes de su circunferencia con la grasa recomendada.

En el caso de que la lubricación de rodamiento se realice con aceite, hay que considerar que el cambio debe hacerse periódicamente, por lo menos cada tres a seis meses, y cuando la inspección muestre que el aceite se ha degradado, habrá que tener en cuenta que el nivel de aceite deberá abarcar hasta la marca correspondiente, ya que si se aplica en exceso se pondrá en riesgo el bobinado.

## Cambio de rodamientos axiales

Con el cambio de rodamientos oportuno y programado se evitan los paros innecesarios, y se contribuye a las buenas prácticas de mantenimiento preventivo. Es importante tener en cuenta los paros del equipo para programar el cambio de rodamientos. Normalmente estos tienen larga vida, aunque es preferible cambiarlos antes de que presenten fallas que obliguen al mantenimiento correctivo. Un método para determinar indicios de fallas es el de la medición de la vibración mecánica. Se recomienda:

- Utilizar el equipo adecuado para cada tipo de rodamiento; no usar aditamentos que puedan causar daños a las flechas de acoplamiento.
- Usar rodamientos adecuados al tipo de aplicación, ya sea para alta temperatura, en posición vertical u horizontal, o rodamientos especiales, por ejemplo de carga o cónicos.

## Ajustes de tapas

Es importante inspeccionar diariamente de forma auditiva y/o visual que las tapas no presenten desajustes o desgastes provocados por los rodamientos que se hayan quebrado por algún tipo de objeto ajeno al motor. Se recomienda:

- Hacer una limpieza del área para asegurar un buen funcionamiento del equipo.
- En caso de desgaste, considerar el diámetro del rodamiento y ajustarlo adecuadamente.
- Efectuar un reajuste y la reposición de la tornillería.

## MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA BOMBA

### Cambio de prensaestopas

Como ya se explicó, la finalidad de un prensaestopa es eliminar fugas de líquidos en la bomba e impedir la entrada de aire a los espacios de aspiración. En su revisión se debe buscar que no se presenten fugas de líquido, así como también que no entre aire a la succión de la bomba.

La empaquetadura del prensaestopa debe cambiarse periódicamente. La frecuencia del cambio dependerá del número de horas de operación de la bomba, así como también de la calidad de los materiales. Si la bomba funciona de manera permanente, la empaquetadura debe ser reemplazada con una frecuencia de tres a seis meses.

### Lubricación de chumaceras y portachumaceras (cojinetes)

La frecuencia de la lubricación dependerá de las condiciones y del ambiente en que se encuentre funcionando el equipo. Como guía general se deben realizar las siguientes actividades:

- Cambiar los lubricantes cuando presenten variaciones de color o contaminación por partículas de polvo, agua o partículas metálicas, o descomposición por altas temperaturas y humedad.
- Agregar una pequeña cantidad de grasa cada 400 horas de funcionamiento.
- La caja del cojinete (en caso de que la hubiere) debe estar a una tercera parte de su capacidad.
- No se recomienda el uso de solventes clorados de ningún tipo para limpiar los cojinetes.
- Usar los lubricantes adecuados y normalizados para cada componente de acuerdo con las temperaturas de trabajo.
- Reapretar la tornillería.

### Lubricación de la flecha superior

La flecha superior es la parte de la bomba que tiene como función transmitir el “torque” que recibe del motor durante la operación de bombeo, y a la vez sujetar la bomba y otras partes giratorias. Su inspección debe ser diaria, como la mejor manera de impedir averías y mantener los costos de mantenimiento al mínimo. Se recomienda:

- Usar lubricantes adecuados y normalizados; aplicarlos con la frecuencia que especifique el fabricante.
- Limpiar la flecha con estopa o manta de cielo, usar líquidos adecuados, evitar los agentes oxidantes.

- Revisar que todas las partes de acoplamiento estén bien sujetadas, y efectuar reajustes en caso de que sea necesario.

### **Lubricación del eje de transmisión**

La frecuencia de la lubricación dependerá de las condiciones de trabajo y del ambiente en que se encuentre funcionando el equipo; por lo tanto, el intervalo de lubricación deberá determinarse por experiencia. A continuación se indican las actividades que deben realizarse:

- Los lubricantes deben cambiarse cuando están contaminados con polvo o humedad, o cuando hayan sido sometidos a altas temperaturas.
- Se recomienda añadir una pequeña cantidad de grasa cada 400 horas de funcionamiento.
- La caja de cojinetes debe de estar a 1/3 llena de grasa.
- Para limpiar los cojinetes sin desmontarlos se recomienda usar aceite ligero caliente con una temperatura de entre 82° C y 93° C a través de la caja, mientras se hace girar lentamente el eje.
- No es recomendable el uso de solventes clorados para limpiar los cojinetes.

En el caso de relubricación con grasa:

1. Limpiar a fondo las graseras y el exterior de la caja del cojinete.
2. Quitar el tapón de purga o vaciado.
3. Inyectar grasa nueva y limpia, empujando hacia afuera la grasa vieja.
4. Arrancar la bomba y hacerla funcionar por un rato corto para expulsar el exceso de grasa.
5. Limpiar con un trapo el exceso de grasa y volver a colocar el tapón de purga.

En bombas tipo turbina con motor vertical, los cojinetes del eje de transmisión son lubricados por el fluido bombeado.

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL TREN DE DESCARGA**

### **Revisión de la tubería de descarga**

Las fallas de sellos y cojinetes de la tubería pueden ser causadas por la instalación, la deformación térmica, el diseño del sello, la selección, las variaciones dimensionales y la carga en las boquillas. Conviene revisar si existen soportes o anclas mal instaladas, así como también la instalación de la tubería, debido a que pueden presentar cargas que dañen los cojinetes y sellos.

### **Limpieza y pintura**

Es menester realizar un mantenimiento anual al tren de descarga, que debe de estar limpio y pintado de acuerdo con las normas que se apliquen, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Colocar el anticorrosivo, dejar secar y después pintar con la pintura secundaria.
- Revisar que las partes mecánicas o de accionamiento no queden tapadas por derrames de pintura.
- Limpiar la suciedad semanalmente para evitar que se acumule polvo y que esto provoque humedad, y con ello la aparición de corrosión.

## **Cambios de empaquetaduras**

Los cambios de empaquetaduras entre los acoplamientos de bridas, válvulas, medidores, válvulas de retención, sostenedoras de presión y válvulas de control deben efectuarse por lo menos una vez al año. Su inspección debe ser mensual y se debe hacer un reporte de las posibles fugas y cambios a realizarse, para así evitar gastos innecesarios por paros o reparaciones inmediatas.

## **Inspección al equipo de cloración**

El mantenimiento del equipo de cloración debe ser diario, y se deben considerar las precauciones pertinentes debido a su alto riesgo de toxicidad. Se deben revisar los siguientes puntos:

- Que la tensión suministrada al clorador no exceda el 10% de la tensión permitida.
- Que el equipo esté siempre limpio de suciedad que pueda interferir con su funcionamiento.
- Que el goteo de cloro sea el adecuado según las partes por millón que deben considerarse para cada sistema de bombeo.
- Que la válvula de retención del clorador no esté tapada.

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE VÁLVULAS**

Las válvulas son las principales protecciones en los trenes de descarga: con sus aplicaciones se evitan derrames innecesarios y/o reparaciones provocados por rompimiento de las tuberías de la red. Se recomienda inspeccionarlas semanalmente en busca de fugas o anomalías.

Una válvula no debe permanecer inmovilizada por períodos muy largos, debido a la acumulación de sedimentos. Si es posible, debe ser accionada a intervalos regulares para asegurar una operación correcta y continua.

### **Lubricación de válvulas**

La frecuencia de la lubricación de una válvula se basa en muchos casos en la experiencia del personal de mantenimiento. La recomendación es lubricar el cojinete del eje una vez al mes como mínimo. El tipo de lubricante a utilizarse dependerá de las condiciones de servicio de la válvula (temperatura, tipo de fluido, etc.).

### **Revisión del diafragma de cierre en válvulas solenoides**

Los cierres y las aperturas en válvulas solenoides implican exactitud en el ajuste de los diafragmas; su ajuste debe ser anual y debe llevarse a cabo un reporte de las diferentes fallas que se hayan presentado o se llegasen a presentar. El diafragma debe limpiarse anualmente de acuerdo con las instrucciones particulares del fabricante.

### **Sustitución de empaques en válvulas de desfogue y válvula general**

La frecuencia de cambio de empaquetadura se dejará a criterio del usuario, basándose en sus experiencias pasadas con el equipo. Como guía, se recomienda cambiarla anualmente.

### **Inspección y calibración de macromedidores**

La calibración y el ajuste en los medidores deben ser realizados anualmente. Se debe llevar un registro de su mantenimiento, calibración y fallas registradas.

### **Limpieza del resorte accionador del diafragma**

La limpieza de los accionadores debe ser mensual, y se debe considerar en todo momento la importancia del ajuste preciso de los resortes y accionadores en las válvulas. Se debe completar un registro con detalles de su mantenimiento y las posibles fallas registradas.

### **Limpieza del cuerpo de las válvulas**

La limpieza del cuerpo de las válvulas debe ser mensual; hay que asegurarse de que la apertura y el cierre de las mismas no se vean afectados por algún objeto extraño, y que su engrase se realice con el lubricante recomendado por los fabricantes de acuerdo con las instrucciones para su uso y aplicación.

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE POZOS**

El mantenimiento preventivo de un pozo se realiza con maquinaria de perforación tipo “pulceta”, y consiste en la ejecución de los siguientes trabajos:

- Cepillado de todo el ademe liso y ranurado para tirar el material adherido.
- Aplicación de dispersor de arcillas para reblandecer la incrustación en la ranura.
- Pistoneo después del nivel estático para lavar y reacomodar el filtro de grava.
- Extracción del material de azolve acumulado en el fondo del pozo y el tirado por el cepillado.

De acuerdo con las características del pozo, así como también según la calidad del agua, la frecuencia de mantenimiento podrá ser anual, bianual o trianual.



## Capítulo 4

# MANTENIMIENTO CORRECTIVO

**E**l mantenimiento correctivo es el tipo de mantenimiento que se lleva a cabo con el fin de corregir fallas en el equipo. Este puede ser:

- Planificado. Cuando se sabe con antelación qué es lo que se debe reparar, y por lo tanto se tienen todos los elementos a la mano al momento de ejecutarlo.
- No planificado. Es el que se ejecuta cuando se presenta una falla que inhabilita un equipo esencial. Se le conoce también como mantenimiento de emergencia. Con frecuencia, este tipo de mantenimiento se efectúa en condiciones de emergencia y con el único objetivo de restablecer el servicio que se dejó de brindar a causa de la falla.

## MANTENIMIENTO CORRECTIVO AL TRANSFORMADOR

### Reemplazo del equipo

El reemplazo del transformador es recomendable cuando este ha perdido eficiencia por alguna razón o cuando por su estado físico no es confiable su correcta operación. Las causas por las cuales un transformador pierde eficiencia son:

- Factor de carga alto. Un alto factor de carga en el transformador hace que trabaje ineficientemente y, si a ello se agrega el calor provocado por la corriente que demanda la carga y daña las propiedades del aceite, como resultado se tendrá un transformador menos eficiente aún, con el riesgo de que se produzcan un cortocircuito y un daño irreparable.
- Desbalance de voltaje, corriente y potencia. Cuando estos no se pueden corregir, es mejor en ocasiones sustituir el transformador.

Por otra parte, una falla en el sistema de protecciones o un sistema de protecciones deficiente, combinado con un problema eléctrico, puede ocasionar un fallo destructivo en el transformador y la necesidad de reemplazarlo.

### Reparación del equipo

La reparación del equipo se hace necesaria generalmente en los siguientes casos:

- Cuando, como resultado de las pruebas de aislamiento (megóhmetro) o de relación de transformación (TTR), se diagnostica que es necesario cambiar los conductores del devanado.
- Cuando se detecten altas temperaturas de operación, ya que es probable que el nivel de aceite esté bajo y sea necesario reponer aceite.
- Cuando por una causa externa el transformador sufra algún daño físico.
- Cuando, como resultado de una falla eléctrica combinada con una falla en el sistema de protecciones, el transformador sufra algún daño.

## Acciones diversas de mantenimiento correctivo a transformadores

Pueden llegar a necesitarse las siguientes tareas de mantenimiento correctivo en un transformador:

- Si se presenta calentamiento en uniones, apretar tornillos, conexiones y uniones.
- Si hay sobrecarga, utilizar un segundo transformador para repartir la carga, o sustituir el transformador actual por uno con mayor capacidad.
- Si se produce una temperatura anormal en el bote del transformador, debido a un bajo o alto nivel de aceite o a poca ventilación, reponer niveles de aceite y ventilar.
- Si se observa un cambio en las propiedades del aceite, filtrarlo o sustituir el aceite dieléctrico.
- En caso de presentarse distorsión armónica, corregir mediante la instalación de un filtro de armónicas.

## MANTENIMIENTO CORRECTIVO AL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

### Reemplazo del equipo o de los componentes

El reemplazo del equipo o de los componentes se deberá realizar en los siguientes casos:

- Sustituir aquellos conductores que presenten daños en el aislamiento debido a altas temperaturas. Si el problema fue causado por falsos contactos en conectores, corregir el problema reapretando la tornillería. Si el calentamiento se debe al calentamiento del propio conductor, habrá que sustituirlo por un conductor del calibre adecuado, que permite conducir la corriente sin que se produzcan daños.
- Reemplazar las botoneras con daños mecánicos o eléctricos.
- Si se escucha ruido eléctrico en los interruptores debido a un arqueado a causa de un falso contacto, sustituir el interruptor.

### Reparación del equipo

La reparación del equipo se recomienda cuando el daño es menor y puede enmendarse sin comprometer la confiabilidad del equipo.

## MANTENIMIENTO CORRECTIVO A MOTORES

### Sustitución del motor

La sustitución de un motor eléctrico es recomendable en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando el motor trabaja más de 4.000 horas/año, es de eficiencia estándar y esta última se ha depreciado por antigüedad y/o rebobinados en 3 o más puntos porcentuales. En este caso hay que sustituirlo por un motor de alta eficiencia.
- Cuando el motor tiene más de cinco años de operación, trabaja más de 3.000 horas/año, es de eficiencia estándar y se ha quemado por algún problema. En este caso, en lugar de repararlo hay que reemplazarlo por un motor nuevo de alta eficiencia.
- Cuando el motor se encuentra trabajando con un factor de carga menor al 40% o mayor al 100%. En este caso hay que sustituirlo por un motor de alta eficiencia con una capacidad tal que opere con un factor de carga de entre el 65% y el 85%. Si el nuevo motor resulta de menos de 10 HP, habrá que buscar que su factor de carga se encuentre entre el 75% y el 90%.

## Reparación del motor

La reparación del motor va a aplicar en cualquiera de los siguientes casos:

- **Rebobinado.** Si las pruebas a la bobina arrojan resultados desfavorables o existen desbalances importantes de corriente es necesario rebobinar el motor. Si el motor ha sido rebobinado más de dos veces, es mejor sustituirlo.
- **Cambio de rodamientos.** Cuando el rodamiento presenta algún desgaste debe ser sustituido. Al momento de efectuar la sustitución, tomar en consideración que un rodamiento no debe tocarse con las manos, ya que el ácido de la piel lo dañaría.

## Acciones diversas de mantenimiento correctivo a motores

Pueden llegar a necesitarse las siguientes tareas de mantenimiento correctivo en un motor:

- Rodamiento:
  - Si las propiedades del lubricante no son adecuadas para la aplicación, sustituir el lubricante por uno que tenga las propiedades deseadas (no deben quedar residuos del lubricante que se sustituirá).
  - Para evitar una lubricación inadecuada, se recomienda lubricar con frecuencia de acuerdo con el tipo de rodamiento.
  - Si se observa un ajuste incorrecto del cojinete, habrá que corregirlo si no existe daño, y en caso contrario, sustituir el cojinete.
- Sobrecarga: sustituir el motor.
- Daños en bobinas: rebobinar o sustituir el motor.
- Velocidad de operación menor a la velocidad a plena carga: comprobar el voltaje de la operación y corregir problemas de rodamiento y/o cojinetes, o sustituir el motor.
- Sobrecarga: corregir el problema o sustituir el motor por uno con mayor capacidad.
- Mediante el procedimiento del factor de carga, determinar si el motor se encuentra sobrecargado.
- Voltaje de alimentación diferente al nominal: si se presentan diferencias de voltaje, debe determinarse exactamente la causa, ya que esta puede ser:
  - Una caída de voltaje en la red de alimentación: en este caso, solicitar al suministrador de energía que corrija el problema; si la diferencia del voltaje en porcentaje es menor al 5%, hay que modificar el tap (derivador de voltaje) del transformador.
  - Un desbalance de voltaje, corriente y potencia: si el desbalance se presenta en las terminales de la acometida antes de llegar al transformador, solicitar al suministrador que corrija el problema; si el desbalance se presenta en las terminales del transformador en vacío, aplicar mantenimiento al mismo, y si es provocado por el motor eléctrico, sustituirlo.
  - Un bajo factor de potencia: reemplazar o instalar un banco de capacitores, según sea el caso.

## MANTENIMIENTO CORRECTIVO AL SISTEMA DE TIERRAS

Para efectuar este tipo de mantenimiento correctivo, habrá que considerar los siguientes puntos:

- Si se observa desconexión del conductor de puesta a tierra, unir mediante soldadura aluminotérmica.

- Si la resistencia eléctrica es superior a 5 Ohms, se debe tratar con intensificadores de tierras.
- Si existe corriente en el conductor aterrizado, esto indica un desbalance de potencia en el sistema; por lo tanto, habrá que determinar qué es lo que provoca el desbalance y corregirlo.
- Cambiar el calibre del conductor de puesta a tierra si es necesario.

## **MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN BOMBAS**

### **Reparación o sustitución de componentes**

- Prensaestopa. Sustituir empaquetaduras o sello mecánico, si existe fuga.
- Buje estopero. Extraer el empaque viejo completamente con un extractor de empaquetaduras si se tiene a la mano; es importante limpiar perfectamente la caja de empaques así como también sus conductos de enfriamiento. Revisar el prensaestopa; verificar su sujeción y además observar que conserve su holgura, y que entre este y su manga o la flecha haya una distancia que no debe exceder de 0,762 mm.
- Impulsor. Si el gasto y la carga presentan una variación mayor al 10% de sus valores de diseño, es señal de que el impulsor ya muestra cierto desgaste, por lo que se recomienda sustituirlo.
- Tubería de descarga. Cuando la tubería de descarga presenta corrosión avanzada es mejor sustituirla para evitar una fuga de agua que paralice el servicio.

### **Sustitución de la bomba**

La bomba debe ser sustituida en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando el cuerpo de la bomba presente daños importantes, derivados de la corrosión, un atascamiento, un golpe de ariete o de la fricción.
- Cuando las condiciones de operación no coincidan con las características de diseño de la bomba y esto se traduzca en baja eficiencia de operación.

## **MANTENIMIENTO CORRECTIVO A VÁLVULAS**

Cuando una válvula ha sufrido daño en algunos de sus componentes, esta puede reacondicionarse; para ello se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Desarmar la válvula y limpiar los componentes con productos químicos o con chorro de arena.
2. Inspeccionar con cuidado los componentes; tomar la decisión de reparar o reemplazar las piezas gastadas.
3. Soldar para rellenar superficies gastadas o maquinar para producir superficies nuevas. En el almacén debe haber provisión de piezas semiacabadas y refacciones (piezas de repuesto) para producir piezas nuevas terminadas.
4. Armar la válvula con empaquetaduras nuevas y, si se requiere, con tornillos nuevos.
5. Probar la válvula reacondicionada de acuerdo con las especificaciones para válvulas nuevas.

## Capítulo 5

# PLAN DE MANTENIMIENTO

## INVENTARIO DEL EQUIPO Y DE LAS INSTALACIONES

La primera actividad que se tiene que hacer para estructurar un plan de mantenimiento es elaborar un inventario del equipo y de las instalaciones. Dicho inventario debe contener al menos la información que sigue.

### Instalaciones eléctricas

- Diagrama unifilar. Si no se tiene o no está actualizado, habrá que elaborarlo.
- Conductores eléctricos. Se debe tener información acerca de la longitud y del calibre de los conductores eléctricos en cada tramo, así como también determinar si estos van en *conduit* o charola y el número de conductores que se llevan en la canalización.
- Transformadores. El inventario debe incluir la identificación de cada transformador, así como también de todos sus datos de placa.

### Motores eléctricos

- Diagramas del sistema de control y fechas de modificaciones.
- Identificación del motor.
- Año de fabricación/instalación.
- Datos de placa.
- Antigüedad, número de rebobinados que ha sufrido el motor, así como también la descripción de las reparaciones que se le han hecho.
- Especificación de rodamientos, con indicación de la fecha en la que se cambiaron por última vez.
- Especificación del sistema de control, la que deberá incluir características del arrancador, del interruptor y de las protecciones.

### Bombas

- Identificación de la bomba.
- Año de fabricación/instalación.
- Especificación de la bomba (marca, modelo, material, velocidad de operación, curvas características).
- Datos de diseño (carga y caudal).
- Especificación del impulsor (tipo, diámetro) y fecha en la que fue instalado.
- Especificación de rodamientos, prensaestopa y sellos mecánicos. Se debe indicar la fecha en la que se cambiaron por última vez.
- Diagrama del arreglo hidráulico y del tren de descarga.

## Tanques

- Identificación.
- Dimensiones y capacidad.
- Material de fabricación y antigüedad.
- Plano o diagrama.
- Sistema de control o nivel.

## Red hidráulica

- Diagrama de la red hidráulica, en la que se indiquen longitudes, diámetros y material de la tubería, así como también la ubicación de las cajas de válvulas.
- Antigüedad de la tubería y estadística de fallas.
- Inventario de válvulas, en el que se indique la especificación de cada una de ellas, así como también su localización.

## ACTIVIDADES Y FRECUENCIA DE EJECUCIÓN

Para elaborar el programa de mantenimiento es indispensable haber asignado previamente la frecuencia con la que se harán las diferentes actividades, tanto de mantenimiento preventivo como predictivo. La frecuencia con la que se deben hacer las diferentes actividades estará basada en la experiencia del mismo personal de mantenimiento, así como también en las recomendaciones de los proveedores del equipo. El cuadro 5.1 muestra la frecuencia recomendada para realizar las diferentes actividades. Este cuadro puede ser usado como una guía, que deberá adaptarse a las condiciones específicas de la empresa y del equipo.

**Cuadro 5.1** Frecuencia de mantenimiento de subsistemas y equipos

Subsistema	Equipo	Acción recomendada	Frecuencia de mantenimiento				Obs.
			Diario	Semanal	Mensual	Anual	
Eléctrico	Transformadores	Limpieza del equipo.			X		
		Limpieza del área.		X			
		Reajuste de tornillería en boquillas y terminales mecánicas.			X		
		Purificado y filtrado de aceite dieléctrico, consistente en centrifugar, filtrar, deshidratar y desgasificar los contenidos en el transformador.				X	
		Medición y análisis de parámetros eléctricos.			X		
		Análisis fisicoquímico del aceite.				X	
		Pruebas de relación de transformación (TTR).				X	
	Centro de control de motores	Pruebas eléctricas (megóhmetro).				X	
		Análisis termográfico.				X	
		Limpieza del tablero con solvente dieléctrico.				X	
		Limpieza y lubricación de accionamientos mecánicos (resortes, botoneras).				X	
		Reajuste de tornillería a terminales y conectores eléctricos.				X	
		Medición y análisis de parámetros eléctricos.			X		
		Pruebas de resistencia eléctrica en la red de tierra física.				X	
	Motores eléctricos	Pruebas de continuidad en la red de tierra física.				X	
		Análisis termográfico.				X	
		Limpieza de embobinado con solvente dieléctrico.				X	
		Lubricación de rodamientos.			X		
		Cambio de rodamientos axiales.				X	
		Ajustes de tapas.				X	
		Lijado y pintura de carcasa.				X	
Medición y análisis de parámetros eléctricos.					X		
Medición y análisis de vibraciones mecánicas.					X		
Pruebas al aislamiento.					X		
Mecánico	Bombas	Pruebas de resistencia al bobinado.				X	
		Análisis termográfico.				X	
		Lubricación de chumaceras y portachumaceras.			X		
		Lubricación a flecha superior.		X			
		Cambio de buje de tazones.					*
		Rectificado de asientos de tazones intermedios.					*
		Cambio del buje del tazón de succión.					*
		Rectificación de flecha de línea.					*
		Cambio de flecha superior.					*
		Cambio de chumaceras.					*
		Cambio del buje estopero.					*
		Rectificación de flecha de tazones.				X	
		Medición y análisis de vibraciones mecánicas.				X	
	Tren de descarga	Medición y análisis de presión de descarga y carga de bombeo.			X		
		Medición y análisis del caudal.			X		
		Revisión del buje estopero.		X			
		Revisión del prensaestopa.	X				
		Limpieza y revisión del tren de descarga.		X			
		Pintura del tren de descarga.				X	
		Cambio de empaques rotos entre el acoplamiento de bridas, válvulas, medidores y válvulas de retención sostenedoras de presiones.			X		
		Cambio de válvulas.					*
Válvulas	Inspección del funcionamiento y calibración de los macromedidores.				X		
	Inspección del equipo de cloración.	X					
	Limpieza de solenoide y válvulas de expulsión de aire.			X			
	Medición y análisis de vibraciones mecánicas.				X		
	Limpieza y evaluación del diafragma.					*	
	Limpieza y evaluación del resorte accionador del diafragma.				X		
	Limpieza de junta antipolvo.				X		
	Lubricación del cojinete del eje.			X			
	Limpieza del cuerpo de la válvula.			X			
	Limpieza de solenoide.				X		
	Cambio de conductores eléctricos de control.					*	
	Medición y análisis de vibraciones mecánicas.			X			

\* Sólo cuando se requiera



## Capítulo 6

# IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS

La identificación de problemas tiene por objeto demostrar la existencia de problemas o deficiencias en el mantenimiento de los distintos componentes del sistema, con la finalidad de darles una oportuna solución. A continuación se detallan las principales actividades a desarrollar para llevar a cabo dicha identificación.

### INSPECCIÓN SENSORIAL (VISUAL, TÁCTIL, AUDITIVA, OLFATIVA)

La inspección sensorial tiene por objeto identificar, en el equipo y las instalaciones, dificultades derivadas de algún problema de mantenimiento. A continuación se describen las principales actividades a realizar y los aspectos clave en los que se debe poner atención.

#### Sistema eléctrico

##### *Transformador*

- Comprobar que no existan sonidos o vibraciones anormales.
- Comprobar que la pintura del transformador se encuentre en buen estado.
- Comprobar que los conductores de puesta a tierra se encuentren aterrizados.
- Comprobar que no exista derrame de aceite dieléctrico.
- Comprobar daños a boquillas.

##### *Interruptor*

- Comprobar que no existan ruidos eléctricos.

##### *Conductores*

- Comprobar que el aislamiento no presente daños.

##### *Motor*

- Comprobar que no exista ruido o vibración anormal.

#### Sistema hidráulico

##### *Bomba*

- Comprobar que no exista ruido o vibración anormal.
- Comprobar que no haya pernos sueltos en el cabezal.
- Comprobar que no se observen indicios de corrosión en el cabezal.
- Comprobar que no existan fugas en sellos y prensaestopas.

## Cabezal de descarga

- Comprobar que el equipo de medición (macromedidor y manómetro) esté operando.
- Comprobar que no existan fugas.
- Comprobar que la válvula expulsora de aire esté operando.
- Comprobar que no existan daños físicos a los componentes.

## ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

### Diagrama unifilar

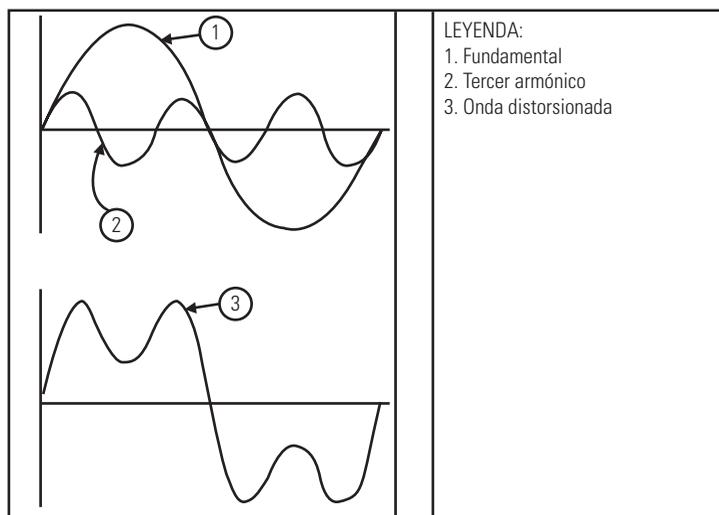
El diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas es una herramienta de gran utilidad para muchas de las actividades de mantenimiento; por ello, es de gran importancia mantenerlo actualizado. Como parte de un análisis del programa de mantenimiento, habrá pues que verificar la existencia de dicho diagrama, y observar que se encuentre actualizado.

### Análisis de la distorsión armónica

Para realizar esta actividad es necesario llevar a cabo un monitoreo mínimo por 24 horas (recomendado: siete días) de la distorsión armónica total en voltaje y corriente, a fin de cerciorarse de que los valores de las mismas no sobrepasen el 4% en voltaje y el 20% en corriente, debido a que valores superiores a los consignados pueden provocar problemas en los siguientes equipos:

- Motor eléctrico. Las armónicas provocan una distorsión de la onda senoidal de voltaje, como se muestra en el gráfico 6.1, lo que causa ruidos en el motor debidos a que el campo magnético no enlaza correctamente el rotor, y lleva a una reducción en su vida útil. Por otra parte, armónicas de secuencia negativa, como la 2ª, 5ª, 8ª, etc., provocan un par inverso en el motor, lo que reduce su capacidad de entregar potencia y eventualmente puede hacer que el motor se quemé.

**GRÁFICO 6.1** Onda senoidal distorsionada



- Capacitores. Las armónicas de orden superior, como la 9ª, 11ª, 13ª, etc., pueden entrar en resonancia con el capacitor provocando su destrucción, con posibles daños al personal.
- Conductores eléctricos. En sistemas trifásicos como los que usualmente hay en las instalaciones de bombeo, las armónicas de secuencia cero se suman en el neutro, lo que ocasiona una alta corriente en el hilo de neutro. Si el calibre del neutro no está calculado para manejar estas altas corrientes, se puede sobrecalentar, e inclusive llegar a incendiarse.

La distorsión armónica es ocasionada por cargas no lineales en el sistema eléctrico. En instalaciones de bombeo, estas cargas pueden ser los variadores de velocidad de estado sólido. La forma de resolver este problema es mediante la instalación de filtros de armónicas.

### Análisis de las mediciones eléctricas

El análisis de las mediciones eléctricas es de gran utilidad para identificar los problemas que se describen a continuación.

### Voltaje de alimentación diferente del nominal (VDN)

Un motor eléctrico que es alimentado con un voltaje distinto del de la placa o nominal disminuye su eficiencia de operación.

El porcentaje de desviación de la tensión con respecto al nominal se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$VDN = \left( \frac{V_{prom} - V_{placa}}{V_{placa}} \right) * 100$$

Donde

VDN = diferencia porcentual entre el valor del voltaje de alimentación y el dato de placa del voltaje nominal (-).

$V_{prom}$  = voltaje promedio entre fases (v).

$V_{placa}$  = valor de voltaje nominal de alimentación, indicado en la placa (v).

El origen de este problema puede ser externo, esto es: que el suministro se esté dando con un voltaje diferente del nominal o interno. Un problema interno puede ser un transformador en mal estado, subdimensionado o con una inadecuada relación de transformación. Otra causa puede ser una gran caída de tensión en los conductores eléctricos.

Para resolver esta situación se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Si el problema es externo, es probable que al modificar la relación de transformación del transformador con los taps<sup>1</sup> se pueda corregir o disminuir el efecto. En caso de que la desviación sea muy grande o se presenten variaciones importantes de voltaje, habrá que comunicárselo a la compañía suministradora para que solucionen la situación.
- Si el problema es que el transformador está en mal estado, habrá que practicarle mantenimiento, o en su caso sustituirlo.

<sup>1</sup> Los taps de un transformador son selectores mecánicos que le sobreponen al bobinado primario un número de espiras para que la tensión de salida sea la adecuada según la regulación de tensión que se ha de operar.

- Si el transformador está subdimensionado, habrá que sustituirlo por uno de la capacidad adecuada.
- Si la relación de transformación no es la correcta, habrá que modificarla por medio de los taps.
- Si el problema es una gran caída de tensión en los conductores, estos se deberán sustituir por conductores de mayor calibre.

### Desbalance de voltaje (DBV)

Un motor eléctrico alimentado con un voltaje desbalanceado disminuirá su capacidad de convertir la potencia eléctrica en potencia mecánica y restringirá también su eficiencia de transformación. Para detectar un desbalance de voltaje de alimentación a un motor, es necesario realizar mediciones de voltaje entre fases y calcular el desbalance con la siguiente ecuación:

$$DBV = \frac{\max \left( \left( \max (V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A}) - V_{prom} \right), \left( V_{prom} - \min (V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A}) \right) \right)}{V_{prom}}$$

Donde:

DBV = desbalance de voltaje (-).

$V_{A-B}$  = tensión entre las fases A y B (v).

$V_{B-C}$  = tensión entre las fases B y C (v).

$V_{C-A}$  = tensión entre las fases C y A (v).

$V_{prom}$  = tensión promedio entre fases (v).

El desbalance del voltaje de alimentación a un motor eléctrico es originado por un problema exterior al motor, por lo que para corregirlo será necesario identificar la fuente del problema.

Dentro de las principales causas que hacen que el voltaje le llegue desbalanceado al motor se encuentran las siguientes:

- Desbalanceo de cargas dentro de la misma instalación.
- Problemas con el transformador, que ocasionan que no haya la misma relación de transformación por fase.
- Desbalanceo de cargas en la línea de alimentación a la instalación. Este problema habrá que plantearse al suministrador para que lo resuelva.

### Desbalance de corriente

Cuando las corrientes demandadas por cada fase del motor son distintas entre sí, se dice que existe un desbalance de corriente, el cual es un indicio de que existe un posible daño de las bobinas del motor, o bien de que estas son diferentes entre sí.

El desbalance de corriente se calcula a partir de las mediciones de corriente por fase, mediante la siguiente ecuación:

$$DBV = \frac{\max \left( \left( \max (I_A, I_B, I_C) - I_{prom} \right), \left( I_{prom} - \min (I_A, I_B, I_C) \right) \right)}{I_{prom}}$$

Donde:

DBI = desbalance de corriente (-).

$I_A$  = corriente de la fase A (A).

$I_B$  = corriente de la fase B (A).

$I_C$  = corriente de la fase C (A).

$I_{prom}$  = corriente promedio de las tres fases (A).

Las causas más comunes del desbalance de corriente son:

- Contacto de espiras del mismo devanado en cualquiera de sus fases, provocado por daño al aislamiento eléctrico.
- El motor fue reparado (rebobinado) y no colocaron la misma cantidad de espiras que tenía originalmente.

### **Desbalance de potencia**

Cuando las mediciones de la potencia por fases del motor son distintas entre sí, existe un desbalance de potencia. Este suele ser producto del desbalance de corriente.

Si el desbalance de potencia es similar al de corriente o mayor, esto indica que el problema es el motor y responde a las causas consignadas en la sección sobre el desbalance de corriente.

Si no existe desbalance de potencia, pero sí de corriente, es muy probable que el problema sea un desbalance de voltaje ajeno al motor.

El desbalance de potencia se calcula a partir de las mediciones de potencia por fase, por medio de la siguiente ecuación:

$$DBP = \frac{\max((\max(P_A, P_B, P_C) - P_{prom}), (P_{prom} - \min(P_A, P_B, P_C)))}{P_{prom}}$$

Donde:

DBP = desbalance de potencia.

$P_A$  = potencia de la fase A (kW).

$P_B$  = potencia de la fase B (kW).

$P_C$  = potencia de la fase C (kW).

$P_{prom}$  = potencia promedio de las tres fases (kW).

### **Factor de carga**

El factor de carga del motor eléctrico indica el porcentaje de potencia mecánica suministrada con respecto a su capacidad nominal.

Un factor de carga por encima del 100% advierte que el motor se encuentra sobrecargado, lo que trae como consecuencia el calentamiento excesivo de los devanados, la disminución de la eficiencia de operación y la reducción de la vida útil.

El factor de carga recomendado para la operación de motores es de entre el 65% y el 80%. Este se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{(P_e / \eta_m)}{HP_{nom} * 0.746}$$

Donde:

FC = factor de carga de operación del motor.

$P_e$  = potencia eléctrica demandada por el motor (kW).

$\eta_m$  = eficiencia de operación del motor.

$HP_{nom}$  = potencia nominal del motor (HP).

$P_{nom}$  = potencia nominal del motor (kW).

El factor de servicio que viene consignado en la placa del motor indica hasta qué punto el motor está habilitado para resistir sobrecargas. Así, un factor de servicio del 1,15 significa que el motor está diseñado para operar con una sobrecarga del 15% sobre su potencia nominal.

### **Corriente del capacitor**

La medición de la corriente del capacitor por fase indica su estado operativo, es decir: si se encuentra funcionando correctamente o no. La corriente en cada fase debe ser la misma; si se detectan corrientes diferentes, eso es síntoma de que el banco de capacitores se encuentra en mal estado y hay que repararlo o sustituirlo.

La capacidad del banco de capacitores debe seleccionarse para reducir al mínimo las corrientes reactivas que circulan por los conductores eléctricos. Esto es: se debe seleccionar la capacidad del banco de capacitores para obtener un factor de potencia muy cercano a la unidad, y el banco se debe instalar lo más cerca posible a la carga.

### **Análisis del sistema de tierras**

Un buen sistema de tierras otorga seguridad al personal que trabaja en la empresa de agua y saneamiento, y protege al equipo.

El tener aterrizados los equipos garantiza que, cuando exista algún contacto de los conductores eléctricos energizados con la estructura del equipo, el voltaje sea drenado al sistema de tierras, y que suceda lo mismo cuando exista una descarga atmosférica; esto asegura que en caso de contacto del personal con el equipo al momento de una falla del tipo descrito, no circule corriente.

Los parámetros a analizar con respecto al sistema de tierras son los siguientes:

- **Continuidad y resistencia eléctrica.** El primer paso es visualizar que exista conexión física del conductor de puesta a tierra y el sistema de tierras, y que no se note sulfatación en la soldadura. Posteriormente, si se cumple con las dos condiciones anteriores, se procede a tomar la medición con un telurómetro; el valor de la resistencia eléctrica del sistema de tierras no deberá exceder los 5 Ohms. Lo anterior es un caso particular de la tierra de servicio. Sin embargo, deberá verificarse para otros sistemas de puesta a tierra, y definir los valores correspondientes.

- **Corriente.** Si en el sistema de tierras se mide una corriente que fluye del neutro a la tierra, esto indica que existe un desbalance de potencia en el equipo.

## ANÁLISIS DEL SISTEMA HIDRÁULICO

### Análisis de la bomba

El análisis hidráulico de la bomba en operación consiste en determinar qué tan cerca o lejos se encuentra la bomba de su punto de diseño. Cuando el gasto y la carga de operación difieren de los valores de diseño, esto se debe a una o varias de las siguientes causas:

- **Impulsor mal ajustado.** Implica que el impulsor no trabaja en el punto de diseño.
- **Impulsor desgastado.** El impulsor es el encargado de aplicar empuje al agua, lo cual provoca la salida del agua del pozo o cárcamo; si existe desgaste, el empuje disminuye, lo cual da como resultado menor carga y flujo de agua.
- **Velocidad de operación diferente de la del diseño de la bomba.** Si la velocidad de la bomba varía, también lo hace la curva de la bomba, y por lo tanto varían la carga y el flujo.

Todo lo anterior implica mayor consumo de energía, debido a que la eficiencia de la bomba disminuye considerablemente.

### Determinación de una desviación de la carga hidráulica con respecto al dato de diseño

Para determinar la existencia de una desviación de este tipo, se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$DH_b = \frac{H'_b - H_b}{H_b} * 100$$

Donde:

$D_{hb}$  = desviación de la carga hidráulica respecto de la de diseño (-).

$H_b$  = carga hidráulica de diseño de bombeo, en (mca) (Lh).

$H'_b$  = carga hidráulica medida de bombeo, en (mca) (Lh).

### Determinación de desviación del gasto

Para determinar la existencia de una desviación de este tipo, se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$DQ_b = \frac{Q'_b - Q_b}{Q_b} * 100$$

Donde:

$DQ_b$  = desviación del gasto con respecto al de diseño (-).

$Q_b$  = gasto hidráulico de diseño de bombeo (l/s).

$Q'_b$  = gasto hidráulico medido de bombeo (l/s).

## ANÁLISIS DE TEMPERATURAS

### Temperatura del transformador

Una alta temperatura en el transformador es síntoma de que este tiene algún problema. Dentro de las

principales dificultades que se pueden detectar con la medición de temperatura en el transformador se encuentran las siguientes:

- **Alta temperatura en los bornes del alimentador.** Indica un desajuste en las terminales, debido a lo cual se presenta una resistencia de contacto que provoca calentamiento e inclusive falso contacto. Esto también puede suceder por una sobrecarga del transformador.
- **Alta temperatura en los bornes del secundario.** Al igual que en el caso anterior, este fenómeno indica un desajuste en las terminales, debido a lo cual se presenta una resistencia de contacto que provoca calentamiento e inclusive falso contacto. Esto también puede suceder por una sobrecarga del transformador.
- **Alta temperatura en el cuerpo del transformador.** Indica problemas de remoción de calor que pueden deberse a una sobrecarga, un bajo o alto nivel de aceite, o a la presencia de aceite deteriorado o contaminado por contacto con la humedad o el oxígeno.
- **Baja temperatura diferencial en el radiador.** Un valor de temperatura diferencial entre la parte superior e inferior del radiador significa que hay problemas de remoción de calor.

### Temperatura del equipo de control

La razón principal de elevación de temperaturas en los diferentes componentes se debe principalmente a una falta de ajuste de los tornillos de sujeción de las terminales de los conductores y a una sobrecarga del motor. Los componentes en los cuales se debe monitorear la temperatura son:

- Entrada al interruptor.
- Salida del interruptor.
- Entrada al arrancador.
- Salida del arrancador.

### Temperatura del motor

#### **Alta temperatura en los rodamientos**

La temperatura en los rodamientos del motor no debe sobrepasar entre un 60% y un 65% a la temperatura ambiente; cuando esto ocurre, significa que existe algún problema con los rodamientos. El origen del problema podría ser:

- **Propiedades del aceite no adecuadas para la aplicación:** es decir que el aceite utilizado tiene propiedades diferentes de las del diseño.
- **Falta de lubricación:** puede ocurrir que la lubricación del motor no sea la apropiada o que no haya lubricación.
- **Sobrecarga:** la temperatura de los rodamientos se encuentra en función de la temperatura del bobinado; por lo tanto, si existe calentamiento de este último, aumentará también la temperatura en los rodamientos.
- **Ajuste incorrecto del cojinete:** esta falla causará un mayor rozamiento, lo que provocará calentamiento.

#### **Alta temperatura de la carcasa**

A continuación se detallan las causas más frecuentes de temperatura anormal en el motor:

- Sobrecarga: esta provoca calentamiento por la corriente que circula dentro del motor.
- Daños en bobinas.
- Velocidad de operación menor a la de velocidad a plena carga: al tener menor velocidad se genera una mayor corriente en el devanado, lo cual provoca calentamiento y daños al aislante.
- Cuando un motor es accionado por un variador de frecuencia, la disminución de la velocidad de giro reduce la ventilación forzada y por tanto hay un incremento de la temperatura. Por esta razón se recomienda utilizar motores especialmente diseñados para este tipo de equipos.



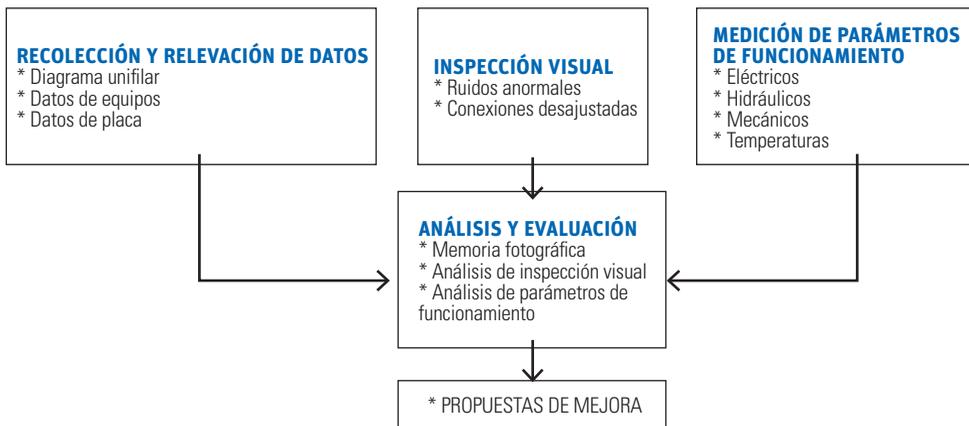
## Apéndice

# METODOLOGÍA PARA LA AUDITORÍA DEL MANTENIMIENTO

La auditoría del mantenimiento (AM) en un sistema de bombeo de agua es la aplicación de un procedimiento para evaluar la manera en que se lleva a cabo el mantenimiento de los componentes eléctricos, mecánicos e hidráulicos en una instalación de bombeo de agua. Consiste en la recolección de información, mediciones de parámetros de operación de los equipos y sistemas, y el análisis de la información recolectada, para identificar áreas de oportunidad de mejora.

Además de esto último, el objetivo final de una AM es la elaboración de propuestas concretas para optimizar los planes de mantenimiento e implantar un plan integral de mantenimiento que contribuya a incrementar las eficiencias de operación, la disponibilidad del equipo y la productividad de la empresa.

**GRÁFICO A.1** Metodología para realizar una auditoría del mantenimiento



Para ejecutar la AM, se debe seguir una secuencia ordenada que lleve a mejores resultados. Dicha secuencia requiere realizar trabajos de campo y gabinete. En el gráfico A.1 se muestra un diagrama que indica de manera resumida las principales actividades necesarias para realizar una AM en un sistema de bombeo de agua.

Siguiendo el orden de las actividades descritas en el gráfico A.1, la metodología consiste en realizar trabajos en dos etapas: una primera etapa con tareas de campo y la segunda con tareas de oficina.

### Actividades en campo *Recolección de datos*

La recolección de datos se lleva a cabo con la finalidad de conocer la información básica de los equipos en los sistemas de bombeo, por ejemplo: transformadores, sistemas de control, motores, bombas, conducciones hidráulicas, conductores eléctricos, capacitores, etc.

Por otra parte, en esta etapa de la auditoría se debe recolectar información acerca de los planes y programas de mantenimiento con los que cuenta la empresa.

### **Mediciones de campo**

Como parte de los trabajos de campo se debe realizar una campaña de mediciones de los parámetros eléctricos, hidráulicos, mecánicos y de temperatura, que permitirán evaluar las condiciones en las que se encuentran los equipos. Las mediciones a realizar son las siguientes:

- Parámetros eléctricos:
  - Medición de armónicas en la línea de alimentación.
  - Medición de tensión, corriente, potencia y factor de potencia en los motores eléctricos.
  - Medición de corriente en los capacitores.
  - Pruebas en transformadores.
  - Mediciones en el sistema de tierras.
  
- Parámetros hidráulicos:
  - Medición de flujo en las bombas.
  - Mediciones de presión en succión y descarga de bombas.
  - Mediciones de niveles de agua y parámetros necesarios para determinar la carga de bombeo.
  - Mediciones de longitud y diámetro de tubería.
  
- Mediciones de temperatura:
  - Medición de temperatura en el transformador (en bornes de alimentación, en bornes de baja tensión, en el bote y radiador).
  - Mediciones de temperatura en el sistema de control de motores (temperaturas en las boquillas de conexión de arrancadores e interruptores).

### **Tareas de oficina**

#### **Análisis de la información y evaluación del mantenimiento**

Una vez recolectada la información producto de las actividades de campo, esta deberá ser analizada para la identificación de las áreas de oportunidad de mejora. El análisis deberá enfocarse básicamente en dos aspectos:

- Corrección de problemas específicos identificados durante los trabajos de campo.
- Propuesta de optimización de los planes y programas de mantenimiento con que cuenta la empresa.

#### **Propuesta de mejoras**

Con la identificación de las áreas de oportunidad de mejora, se propondrán las acciones a implementar, tanto en el mantenimiento predictivo y preventivo, como en acciones específicas de mantenimiento correctivo derivadas de los problemas identificados durante el trabajo de campo.

Como resultado, las acciones se presentarán agrupadas de la siguiente manera:

- **Mejoras al mantenimiento preventivo.** Las acciones propuestas deberán estar encaminadas a contar con un buen programa de mantenimiento preventivo, con el propósito de prevenir la ocurrencia de fallos o desperfectos en el equipo.
- **Mejoras al mantenimiento predictivo.** Las acciones propuestas deberán estar encaminadas a contar con un buen programa de mantenimiento predictivo, con el propósito de anticiparse a la ocurrencia de fallas en los equipos.

- **Mejoras al mantenimiento correctivo.** Las acciones propuestas deberán estar encaminadas a corregir malas prácticas, así como también al establecimiento de buenas prácticas de mantenimiento correctivo en la empresa.
- **Corrección de problemas identificados.** Toda vez que como parte de las actividades de campo se identifiquen problemas específicos, dentro de las recomendaciones de mejora se deberá incluir un apartado donde se indiquen las acciones recomendadas para corregir dichos problemas.

## RECOLECCIÓN DE DATOS

No se puede realizar un estudio o procedimiento de auditoría de mantenimiento sin la obtención de los datos necesarios, por lo que a continuación se describen los datos básicos imprescindibles así como también la forma o las técnicas más usuales para obtenerlos.

Mucha de la información se encontrará en el inventario de equipos (en caso de existir), en la ficha técnica correspondiente o en la orden de compra. La información que no se consiga de este modo, deberá obtenerse por medio de la relevación de datos en campo. A continuación se detalla la información a recolectar.

### Sistema eléctrico

#### *Diagrama unifilar*

Se debe elaborar el diagrama unifilar de las instalaciones, e indicarse en él las conexiones del equipo, acometida, cableado, transformador, interruptor principal, y si tiene arrancador o no, ya que estos datos sirven como base para llevar a cabo cualquier tipo mantenimiento.

#### *Transformador*

- **Tipo.** El tipo de transformador que alimenta al equipo, o en caso de que la acometida sea a baja tensión, describir los elementos que la alimentan.
- **Capacidad.** La capacidad del transformador o de los transformadores; si el suministro se realiza por medio de más de un transformador, habrá que consignar la capacidad en kVA de cada uno de ellos.
- **Relación de transformación.** Se debe anotar el voltaje de entrada y salida del transformador o la relación de voltaje de transformación, en volts separados por una diagonal. En caso de que el transformador tenga más de un voltaje de salida, se deberá apuntar el voltaje al que está funcionando actualmente.

#### *Interruptor principal*

- **Marca.** La marca del interruptor o su fabricante.
- **Capacidad.** La capacidad nominal del interruptor en amperes (A).
- **Ajuste.** Si el interruptor es de tipo ajustable, se deberá consignar la capacidad nominal a la que está ajustado en amperes (A).

#### *Arrancador*

- **Tipo.** Tipo de arrancador.
- **Capacidad.** Capacidad del arrancador en HP.

## Protección

- **Marca.** Fabricante o marca del elemento térmico de protección del motor.
- **Capacidad.** Registrar el rango de calibración del elemento térmico en amperes (A).
- **Ajuste.** El punto en que se encuentra calibrado el elemento térmico.

## Capacitores

Si el equipo cuenta con un banco de capacitores, se deberá anotar la capacidad total del banco en kVAr.

## Sistema de tierras

Se deberán anotar los equipos que se encuentran aterrizados y los que no, y el calibre del cable.

## Conductores eléctricos

Los datos requeridos son: calibre, tipo de aislamiento, temperatura de diseño, longitud y agrupamiento. Se deberán recabar los datos del conductor en los tramos que se extienden del transformador al equipo de control y del equipo de control al motor. Los datos a recabar son:

- **Calibre.** Es el calibre del conductor, ya sea en (mm<sup>2</sup>) o en (AWG); este se encuentra escrito en su aislamiento.
- **Longitud.** La longitud total de los conductores en el tramo descrito.
- **Canalización y agrupamiento.** Descripción de cómo van agrupados los conductores, el medio de canalización utilizado y las medidas de este. La importancia de esta información radica en el hecho de que indica la ventilación con la que cuentan los conductores eléctricos.
- **Temperatura de diseño.** La temperatura de diseño del aislante.

## Datos del motor

### Datos de placa

- **Marca.** Marca o fabricante del motor.
- **Capacidad.** La capacidad nominal del motor (HP).
- **Velocidad.** La velocidad de giro del motor (RPM).
- **Tensión.** La tensión nominal del motor en volts (V).
- **Corriente.** La corriente nominal del motor en amperes (A).
- **Eficiencia.** La eficiencia del fabricante o del motor nuevo (-).
- **Tipo.** Tipo de motor.
- **Carcasa.** Tipo de armazón o número de armazón que tiene el motor.
- **F.S.** Corresponde al factor de servicio.

### Datos de operación

- **Antigüedad.** La edad o el tiempo que ha trabajado el motor desde su primera instalación en años.
- **Operación.** Las horas en promedio de trabajo del motor en un año (hrs/año).
- **Cantidad de rebobinados.** El número de rebobinados que se han realizado al motor en su vida de servicio.

### **Datos nominales de la bomba**

En este apartado se estipulan los datos de placa de la bomba que se deberán tomar.

### **Datos del cuerpo de la bomba**

- **Marca.** Marca o fabricante de la bomba.
- **Tipo.** Tipo de bomba: sumergible, de turbina vertical, horizontal, centrífuga, etc.
- **Modelo.** El modelo de bomba de acuerdo con el fabricante.
- **Antigüedad.** La edad o tiempo que el equipo ha estado en operación, desde su instalación, en años.

### **Datos del impulsor de la bomba**

- **Tipo.** El tipo de impulsor de la bomba.
- **Material.** El material con el que está fabricado el impulsor.
- **Diámetro.** Diámetro nominal del impulsor en metros.
- **Antigüedad.** La edad del impulsor o el tiempo que el impulsor ha estado en operación (años). Cabe señalar que el impulsor podría tener una antigüedad diferente de la de la bomba, si ha sido cambiado durante la vida de esta última.

### **Datos de diseño**

Se trata de las características hidráulicas de diseño con las que fue seleccionado el equipo.

- **Carga.** La carga de diseño en metros de columna de agua (mca).
- **Gasto.** El gasto de diseño en litros por segundo (l/s).

### **Inspección visual y auditiva**

La inspección básica que debe realizarse consiste en la observación de alguno o varios de los siguientes problemas:

#### **Sistema eléctrico**

- **Transformador.** Conexión a tierra puesta, ruido o vibración anormal, estado de pintura, derrames de aceite dieléctrico y daños a boquillas.
- **Interruptor.** Ruido debido al arqueado por desgaste de contactores.
- **Conductores.** Aislamiento dañado.
- **Motor.** Ruido o vibración anormal causados por rodamientos, desbalance o alineamiento del motor.

#### **Sistema hidráulico**

- **Bomba.** Ruido o vibración anormal causados por sedimentos, por el hecho de que el impulsor se encuentre suelto o desbalanceado, o que hubiese pernos sueltos del cabezal en caso de ser un sistema de turbina vertical.

### **Formatos de registro de datos y mediciones en campo**

Es importante el uso de formatos de campo organizados para registrar las características del sistema electromecánico de los equipos de bombeo, ya que ayudan a lograr los objetivos de manera clara y ordenada.

En los cuadros A.1, A.2 y A.3 se muestran los formatos sugeridos para el registro de las características del sistema electromecánico y los datos nominales tanto de la bomba como del motor. En los cuadros A.4, A.5 y A.6 se presenta un formato que puede utilizarse en las mediciones de parámetros hidráulicos, eléctricos y de temperatura de los equipos de bombeo. Los formatos para la recolección y medición de los diferentes parámetros son esenciales en la auditoría energética.

**Cuadro A.1** Formato para recolección de datos del sistema eléctrico

<b>RECOLECCIÓN DE DATOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO</b>																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>SUMINISTRO ELÉCTRICO</b></td> </tr> <tr> <td>Suministrador:</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Nº. de Servicio:</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Tarifa contratada</td> <td>-----</td> </tr> </table>	<b>SUMINISTRO ELÉCTRICO</b>		Suministrador:	-----	Nº. de Servicio:	-----	Tarifa contratada	-----	<div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">DIAGRAMA UNIFILAR</div>														
<b>SUMINISTRO ELÉCTRICO</b>																							
Suministrador:	-----																						
Nº. de Servicio:	-----																						
Tarifa contratada	-----																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>TRANSFORMADOR:</b></td> </tr> <tr> <td>Tipo:</td> <td>OA (AZOTEA)</td> </tr> <tr> <td>Capacidad:</td> <td>150 kVA</td> </tr> <tr> <td>Rel. de transf.:</td> <td>13200/440/254 V.</td> </tr> </table>	<b>TRANSFORMADOR:</b>		Tipo:	OA (AZOTEA)	Capacidad:	150 kVA	Rel. de transf.:	13200/440/254 V.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b></td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>SIEMENS</td> </tr> <tr> <td>Capacidad:</td> <td>250 A</td> </tr> <tr> <td>Ajuste:</td> <td>1100-2500-50%</td> </tr> </table>	<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>		Marca	SIEMENS	Capacidad:	250 A	Ajuste:	1100-2500-50%						
<b>TRANSFORMADOR:</b>																							
Tipo:	OA (AZOTEA)																						
Capacidad:	150 kVA																						
Rel. de transf.:	13200/440/254 V.																						
<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>																							
Marca	SIEMENS																						
Capacidad:	250 A																						
Ajuste:	1100-2500-50%																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>ARRANCADOR:</b></td> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td>DANFOSS VLT AQUA</td> </tr> <tr> <td>Capacidad:</td> <td>150 HP</td> </tr> </table>	<b>ARRANCADOR:</b>		Tipo	DANFOSS VLT AQUA	Capacidad:	150 HP	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>PROTECCIÓN</b></td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>POR VARIADOR</td> </tr> <tr> <td>Capacidad:</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Ajuste:</td> <td>-----</td> </tr> </table>	<b>PROTECCIÓN</b>		Marca	POR VARIADOR	Capacidad:	-----	Ajuste:	-----								
<b>ARRANCADOR:</b>																							
Tipo	DANFOSS VLT AQUA																						
Capacidad:	150 HP																						
<b>PROTECCIÓN</b>																							
Marca	POR VARIADOR																						
Capacidad:	-----																						
Ajuste:	-----																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>SISTEMA DE TIERRAS</b></td> </tr> <tr> <td>¿Hay sistema de tierras?</td> <td>SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>¿Están separados el neutro y la tierra?</td> <td>SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el transformador?</td> <td>SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el arrancador?</td> <td>SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el motor?</td> <td>SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>		¿Hay sistema de tierras?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	¿Están separados el neutro y la tierra?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	¿Está aterrizado el transformador?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	¿Está aterrizado el arrancador?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	¿Está aterrizado el motor?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>CAPACITORES</b></td> </tr> <tr> <td>Capacidad:</td> <td>40/20 kVAr</td> </tr> </table>	<b>CAPACITORES</b>		Capacidad:	40/20 kVAr						
<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>																							
¿Hay sistema de tierras?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>																						
¿Están separados el neutro y la tierra?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>																						
¿Está aterrizado el transformador?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>																						
¿Está aterrizado el arrancador?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>																						
¿Está aterrizado el motor?	SÍ <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>																						
<b>CAPACITORES</b>																							
Capacidad:	40/20 kVAr																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>CONDUCTORES</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Transformador - arrancador</td> </tr> <tr> <td>Calibre:</td> <td>1HXF-4/0</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>7 m.</td> </tr> <tr> <td>Agrupamiento:</td> <td>C-3H+1N4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Arrancador - motor</td> </tr> <tr> <td>Calibre</td> <td>1HXF-4/0</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>9 m.</td> </tr> <tr> <td>Agrupamiento:</td> <td>C-3H</td> </tr> </table>	<b>CONDUCTORES</b>		Transformador - arrancador		Calibre:	1HXF-4/0	Longitud:	7 m.	Agrupamiento:	C-3H+1N4	Arrancador - motor		Calibre	1HXF-4/0	Longitud:	9 m.	Agrupamiento:	C-3H	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"><b>OBSERVACIONES:</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">-----</td> </tr> </table>	<b>OBSERVACIONES:</b>		-----	
<b>CONDUCTORES</b>																							
Transformador - arrancador																							
Calibre:	1HXF-4/0																						
Longitud:	7 m.																						
Agrupamiento:	C-3H+1N4																						
Arrancador - motor																							
Calibre	1HXF-4/0																						
Longitud:	9 m.																						
Agrupamiento:	C-3H																						
<b>OBSERVACIONES:</b>																							
-----																							

**Cuadro A.2** Formato para recolección de datos de motor eléctrico

**RECOLECCIÓN DE DATOS DE MOTOR ELÉCTRICO**

DATOS DE PLACA O NOMINALES					
Marca:	General Electric	Tensión:	440 V	Tipo:	T. Vertical
Capacidad:	150 HP	Corriente:	180 A	Frame:	1445TP
Velocidad:	N/A RPM	Eficiencia:	N/A	F.S.	1,15
HISTORIAL					
Antigüedad:	20 años	Operación:	8760 hrs/año	# de rebobinados	2
OBSERVACIONES:	Modelo 14KA154				

**Cuadro A.3** Formato para recolección de datos de la bomba

**RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA BOMBA**

CUERPO		IMPULSOR		
Marca:	N/D	Tipo:	Semiabierto	
Tipo:	T. Vertical	Material:	N/D	
Modelo:	N/D	Diámetro:	N/D m	
Antigüedad:	años	Antigüedad:	N/D años	
FLECHA	Diámetro:	N/D pulg.	Longitud:	N/D m
DATOS DE DISEÑO:	Carga:	158 m.c.a	Gasto:	14 lps
OBSERVACIONES				

**Cuadro A.4** Formato para el registro de mediciones eléctricas

**MEDICIONES ELÉCTRICAS**

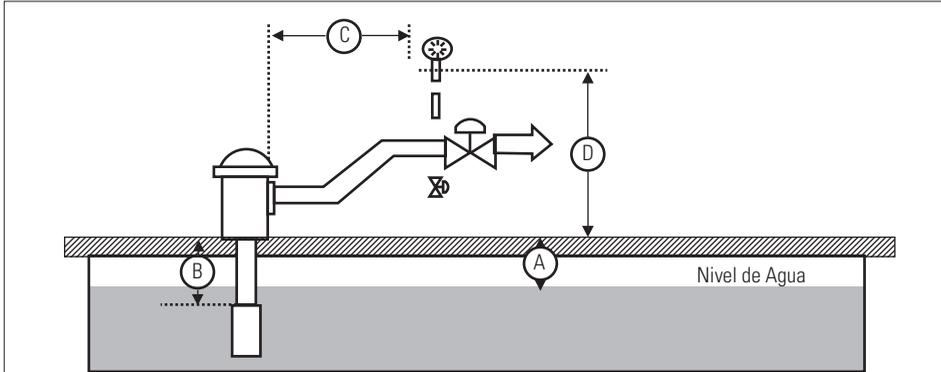
TENSIÓN ENTRE FASES:	Vab:	461	Vbc:	462	Vac:	460
CORRIENTE POR FASE:	Ia:	71,7	Ib:	71,5	Ic:	69,2
POTENCIA ACTIVA:	Pa:	14,9	Pb:	14,9	Pc:	14,3
FACTOR DE POTENCIA	Fpa:	-0,78	FPb:	-0,76	FPc:	-0,78
DISTORSIÓN ARMÓNICA	THD-V	1%	THD-I	32,60%		
Punto de medición:	En el contactor de salida al motor en el variador					
CORRIENTE DEL CAPACITOR:	Ia:	58,1	Ib:	54,4	Ic:	38,5
SISTEMA DE TIERRA:	Continuidad	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Corriente 30,32 mA	Resistencia:	10,36 Ω	
OBSERVACIONES:	Banco de capacitores sobredimensionado y fase C del capacitor dañada.					

**Cuadro A.5** Formato para el registro de mediciones hidráulicas

**MEDICIONES HIDRAULICAS**

**NIVELES**

Nivel del depósito de succión (A): 150 m. Longitud de tubería en succión (B): 158,60 m.  
 Distancia descarga a manómetro (C): 1 m. Altura manómetro de descarga (D): 0,1 m.



	Diámetro (m)	Material	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Gasto (lps)	Velocidad (m/s)
Succión	0,2032	AC	-	12,6	0,3885
Descarga	0,2032	AC	0,61	12,6	0,3885

OBSERVACIONES

**Cuadro A.6** Formato para el registro de mediciones de temperatura

**MEDICIONES DE TEMPERATURA**

En el equipo de control	Entrada al interruptor			Salida al interruptor			Entrada al arrancador			Salida del arrancador		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	34	34	32	34	33	33	33	33	33	31	33	34

MOTOR		TRANSFORMADOR											
Carcasa	Rodamientos		Bornes alimentador			Bornes de baja tensión				Bote		Radiador	
	Sup.	Inf.	X1	X2	X3	X0	X1	X2	X3	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
37	37	36	-	-	-	34	36	36	35	38	31	36	32

OBSERVACIONES: Se observa derrame de aceite dieléctrico en las boquillas de baja tensión en el transformador

**Formato de auditoría del plan de mantenimiento**

La información de las acciones realizadas con respecto al mantenimiento en los equipos de bombeo es de suma importancia, ya que a partir de allí se determinará la situación actual. Esta información deberá ser proporcionada por la empresa de agua. El instrumento a utilizar se muestra en el cuadro A.7.

**Cuadro A.7** Formato de auditoría del plan de mantenimiento

Sub-sistema	Equipo	Acción recomendada	Frecuencia de mantenimiento				No se hace
			Diario	Semanal	Mensual	Anual	
Eléctrico	Transformadores	Limpieza del equipo.					
		Limpieza del área.					
		Reajuste de tornillería en boquillas y terminales mecánicas.					
		Purificado y filtrado de aceite dieléctrico, consistente en centrifugar, filtrar, deshidratar y degasificar los contenidos en el transformador.					
		Medición y análisis de parámetros eléctricos.					
		Análisis fisicoquímico del aceite.					
		Pruebas de relación de transformación (TTR).					
		Pruebas eléctricas (megóhmetro).					
	Análisis termográfico.						
	Centro de control de motores	Limpieza del tablero con solvente dieléctrico.					
		Limpieza y lubricación de accionamientos mecánicos (resortes, botoneras).					
		Reapriete de tornillería a terminales y conectores eléctricos.					
		Medición y análisis de parámetros eléctricos.					
		Pruebas de resistencia eléctrica en la red de tierra física.					
		Pruebas de continuidad en la red de tierra física.					
	Análisis termográfico.						
	Motores eléctricos	Limpieza del bobinado con solvente dieléctrico.					
		Lubricación de rodamientos.					
		Cambio de rodamientos axiales.					
		Ajustes de tapas.					
		Lijado y pintura de carcasa.					
		Medición y análisis de parámetros eléctricos.					
		Medición y análisis de vibraciones mecánicas.					
		Pruebas al aislamiento.					
		Pruebas de resistencia al bobinado.					
		Análisis termográfico.					

**Cuadro A.7** Formato de auditoría del plan de mantenimiento (continuación)

Sub-sistema	Equipo	Acción recomendada	Frecuencia de mantenimiento				No se hace
			Diario	Semanal	Mensual	Anual	
Mecánico	<b>Bombas</b>	Lubricación de chumaceras y portachumaceras.					
		Lubricación de flecha superior.					
		Cambio de buje de tazones.					
		Rectificado de asientos de tazones intermedios.					
		Cambio del buje del tazón de succión.					
		Rectificación de flecha de línea.					
		Cambio de flecha superior.					
		Cambio de chumaceras.					
		Cambio del buje estopero.					
		Rectificación de flecha de tazones.					
		Medición y análisis de vibraciones mecánicas.					
		Medición y análisis de presión de descarga y carga de bombeo.					
		Medición y análisis del caudal.					
		Revisión del buje estopero.					
		Revisión del prensaestopa.					
	<b>Tren de descarga</b>	Limpieza y revisión del tren de descarga.					
		Pintura del tren de descarga					
		Cambio de empaques rotos entre los acoplamientos de bridas, válvulas, medidores y válvulas de retención sostenedoras de presiones.					
		Cambio de válvulas.					
		Inspección del funcionamiento y calibración de los macromedidores.					
		Inspección del equipo de cloración.					
		Limpieza de solenoide y válvulas de expulsión de aire.					
		Medición y análisis de vibraciones mecánicas.					
	<b>Válvulas</b>	Limpieza y evaluación del diafragma.					
		Limpieza y evaluación del resorte accionador del diafragma.					
		Limpieza de junta antipolvo.					
		Lubricación de cojinete del eje.					
		Limpieza del cuerpo de la válvula.					
		Limpieza de solenoide.					
		Cambio de conductores eléctricos de control.					
		Medición y análisis de vibraciones mecánicas.					





[www.iadb.org](http://www.iadb.org)