MANTENIMIENTO POR DIAGNOSTICO EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTRICOS

Eugenio Varela Münchmeyer
Teniente 1º

INTRODUCCION

El Mantenimiento por Diagnóstico implica dos acciones secuenciales e íntimamente relacionadas: 1) efectuar el diagnóstico de la máquina o sistema y 2) efectuar la mantención según el diagnóstico entregado.

Al igual que el médico con un paciente, el ingeniero debe tratar la maquinaria de la forma menos traumática posible, para lo cual se han diseñado una serie de técnicas de medición directa o indirecta que permiten saber el estado general o particular del sistema o componente del mismo, como también se han desarrollado diseños de máquinas de tal modo que atacar el problema sea lo más sencillo posible y no involucre intervenir partes sanas, minimizando así el costo por mantenimiento.

En el caso de la maquinaria eléctrica, el mantenimiento podría agruparse alrededor de áreas afines, como ser:

—Mantenimiento de carácter mecánico. Que se relaciona con las piezas en movimiento o que sufren esfuerzos.

—Mantenimiento de balanceamiento eléctrico. Que se relaciona con el ajuste de los parámetros eléctricos de los equipos.

—Mantenimiento de carácter electroquímico. Que se relaciona con las condiciones químicas de los elementos constituyentes de las máquinas eléctricas.

De los tipos de mantenimiento mencionados, el de carácter mecánico es el que domina el espectro, debido a que las fallas de este tipo son las predominantes entre la maquinaria eléctrica, por lo que las técnicas de diagnóstico se han desarrollado mucho más alrededor de esta área que en las otras.

En general, el mantenimiento eléctrico es en realidad de carácter mecánico, como por ejemplo: descansos de máquinas rotatorias defectuosos, contactos dañados, conexiones flojas, daños en los cables, falta de lubricación en partes móviles, suciedad, fugas de depósitos de aceite, polos sueltos, etc. Por esto se puede considerar el movimiento de las piezas componentes de cada máquina como el factor crítico de la mantención, lo que permite tipificar la maquinaria, para efectos de esta exposición, como sigue:

- Máquinas Móviles
  - Rotatorias
    - Generadores
    - Motrices
  - Alternas
- Máquinas Semimóviles
  - Aparatos de control
  - Protecciones
- Máquinas Estáticas
  - Convertidores
  - Reguladores automáticos de voltaje
  - Distribución
  - Baterías

Nuestra experiencia es que las máquinas eléctricas móviles son las más propensas a fallas y las que implican mayores acciones de mantención, siendo, por otro lado, las máquinas estáticas las que acusan menos fallas y

demandan menos mantención. En este marco se puede decir, *a priori*, que el énfasis en el mantenimiento por diagnóstico debería hacerse en el grupo de las máquinas móviles.

CONSIDERACION INICIAL

El mantenimiento eléctrico en la armada está basado fundamentalmente en el diagnóstico de la máquina y en el análisis de sus parámetros más importantes, sobre todo, debido a que, en general, es simple acceder a sus partes internas. Por otro lado, el hecho de ser la electricidad una ciencia abstracta acostumbra a los especialistas a hacer un diagnóstico de la maquinaria antes de efectuar cualquier acción dirigida a corregir la deficiencia encontrada, lo que induce, aún más, al uso del diagnóstico en el mantenimiento.

REQUISITOS PARA EL DIAGNOSTICO DE MAQUINARIA ELECTRICA

Para efectuar el diagnóstico a cualquier máquina eléctrica se requiere de los siguientes elementos:

—Los parámetros a medir que indiquen el estado general de la máquina y las pruebas a efectuar para determinar su confiabilidad.

—Las técnicas de medición adecuadas y los equipos que mejor respondan a las necesidades de medición.

—El factor de aceptabilidad de los parámetros a medir (límites, estándares, etc.).

—Conocimiento de la construcción y operación de la máquina en cuestión para lograr un adecuado análisis de los datos a obtener.

—Historiales y datos anteriores para verificar el resultado que se obtenga.

Nos detendremos en este punto para efectuar un análisis de los requerimientos planteados.

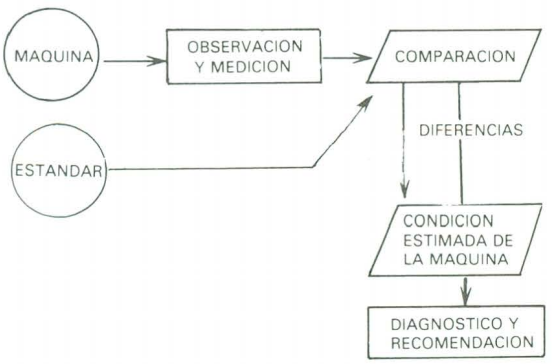
La "selección de los parámetros a medir" va muy de la mano con las "técnicas de medición" disponibles y estas con los equipos adecuados. Luego, si se quiere obtener una buena información para el posterior análisis y diagnóstico, se debe contar con buenos equipos de medición y en cantidad suficiente para poder usarse en distintas unidades a la vez. Esto es un problema de solución inmediata si existe el dinero para su adquisición y operación.

Otra imagen se nos forma con respecto al "conocimiento" necesario de la máquina analizada, del uso de los instrumentos de medición, de los factores de aceptabilidad, etc. El conocimiento es un recurso que demora en obtenerse y es difícil de mantener, sobre todo si consideramos que en la armada el personal rota de puesto muy seguido. Al respecto cabe preguntarse: ¿Quién debería efectuar el diagnóstico de la maquinaria de las distintas unidades? Si se decide por el personal de las propias unidades se deberá contar con personas idóneas en cada unidad. El caso contrario es que sea un equipo especializado de apoyo terrestre, que siendo más económico es menos versátil. En el caso de nuestra institución, el diagnóstico de la maquinaria eléctrica lo hace personal de la propia unidad, que tiene la suficiente capacidad técnica para ello y la institución está constantemente mejorando los instrumentos de medición para así optimizar el diagnóstico.

En lo que se refiere a los "datos anteriores e historiales" hay que hacer una importante diferenciación entre los datos de parámetros de operación y los datos de acciones y acaecimientos anteriores. Los parámetros se han manejado hasta la fecha como acumulación de datos y en general no se manejan en el tiempo u otra dimensión, siendo que el solo hecho de ordenarlos en curvas o estadísticas darán una información preciosísima en el diagnóstico de la maquinaria eléctrica, que superponiéndolos a las condiciones de operación históricas entregarán una aproximación válida de su estado operativo.

PROCESO DE DIAGNOSTICO DE UNA MAQUINA ELECTRICA

En general, el proceso de diagnóstico de una máquina se basa en la comparación de la realidad con parámetros prefijados, sean estos teóricos o empíricos. El análisis de las *diferencias* encontradas (errores) a la luz de las características de diseño de la máquina darán una condición estimada de ella, de donde nacerá el diagnóstico final, producto del análisis ingenieril del problema.



En la actualidad existen en el mercado sistemas que monitorean maquinarias de diferentes grados de complejidad y todos se basan en el análisis estadístico de los parámetros de ella y su comparación con estándares prefijados, entregando incluso diagnósticos según un esquema de análisis preprogramado.

METODOS DE DIAGNOSTICO

El diagnóstico de una máquina eléctrica se orienta a determinar las causas por las cuales no está efectuando correctamente su función primordial y/o certificar su confiabilidad futura con algún grado de exactitud.

En cada grupo se analizarán los métodos más conocidos para determinar el estado y la confiabilidad de la función primordial de cada máquina.

Máquinas móviles

- *Rotatorias generadoras*

a) Análisis de vibraciones

Esta técnica está orientada a recoger una muestra de las oscilaciones de la máquina en diversos planos y puntos escogidos (normalmente cerca de los descansos). La información de frecuencia y amplitudes de las vibraciones, trabajada adecuadamente, puede entregar, fundamentalmente, antecedentes del *estado mecánico* de las diferentes partes de la máquina. La amplitud de la oscilación entregará información acerca de la severidad del problema presente y, analizado en el tiempo, aportará una estimación del momento futuro en que la máquina estará trabajando fuera de los límites de seguridad permitidos. La posición, el plano de medición y la frecuencia medida entregarán la información de la parte fallada o con problemas.

Entre los problemas que se pueden determinar están:

—Desbalanceamiento mecánico de las piezas rotatorias. Normalmente se presenta con vibraciones a la frecuencia de rotación del rotor, con una mayor amplitud en el plano radial.

—Desalineamiento entre eje y descansos, entre coplas, entre poleas de correas de transmisión o eje flectado (que se comporta igual que un desalineamiento). Normalmente se presenta con vibraciones de frecuencia 1, 2 y 3 veces la velocidad de rotación, siendo la amplitud axial sobre el 50% de la radial. La comparación entre las componentes a 1xRPM y 2xRPM dará una indicación sobre la cantidad de desalineamiento presente, considerándose normal que la amplitud de la componente de 2xRPM sea entre 25 y 50% de la de 1xRPM.

—Excentricidad entre rotor y descanso. Normalmente se presenta con vibraciones de 1xRPM y componentes absolutamente radiales pero mayores en el descanso afectado, a diferencia del desbalanceamiento, en donde las vibraciones se presentan con similares amplitudes para ambos descansos.

—Rodamientos fallados. Existen en la actualidad dos técnicas de evaluación del estado de los rodamientos: el control de vibraciones, usado hasta frecuencias de 10 KHz, y el método de pulsos de choque, para mediciones con frecuencias superiores a 40 KHz.

El método de vibraciones puede determinar, a través de fórmulas que relacionan la geometría del rodamiento, si la falla se debe al defecto de la cubeta exterior, de la interior o de una bola al chocar con la cubeta o debido a la excentricidad u ondulado de las pistas interiores de las cubetas.

El método de pulsos de choque determina el rodamiento fallado, sin poder precisar la parte dañada de él; pero la medición es más sencilla, lo que la hace un sistema atractivo para determinar el estado de los rodamientos de máquinas pequeñas y medianas, como las que se encuentran en los buques.

—Juego excesivo de descansos radiales. Normalmente presenta vibraciones con componentes radiales, mucho mayor que los axiales, a una frecuencia de dos o tres veces la velocidad de giro del rotor.

—Solturas mecánicas en descansos radiales. Se presentan con vibraciones a frecuencias subarmónicas de la velocidad de giro del rotor, normalmente de 1/2 ó 1/3.

—Mala lubricación de descansos radiales. Se presenta con una vibración de espectro continuo de alta frecuencia.

—Solturas mecánicas. Normalmente predominan las vibraciones de frecuencias 2xRPM y usualmente vienen acompañadas de síntomas de desalineamiento y/o desbalanceamiento.

—Mal funcionamiento de correas impulsoras. La vibración producida por las correas será detectada en los descansos de las poleas en dirección de las correas, con frecuencias típicas de 1, 2, 3 y 4 veces la velocidad de la correa.

Existe un grupo de vibraciones de origen eléctrico detectables por el análisis de vibraciones; se caracterizan porque desaparecen cuando se desconecta el poder:

—Polo suelto, fugas de corrientes, roturas

de barras, entrehierros asimétricos y otros. Se detectan por presentar vibraciones radiales muy superiores a las axiales y a una frecuencia de 1xRPM.

—Chapas sueltas. Presentan vibraciones con frecuencias iguales a la frecuencia de la red eléctrica (60 Hz), que aumenta en amplitud con la carga de la máquina.

—Desbalanceo en máquinas de inducción. Se presenta normalmente con vibraciones resultantes de la mezcla de la velocidad sincrónica y la de giro, fluctuando la lectura de los instrumentos de medición entre un máximo y un mínimo, con una frecuencia coincidente a la del resbalamiento.

—Mala conmutación, mal contacto de escobillas. Esto implica torques aleatorios y pulsantes que son detectados por pequeñas vibraciones en la frecuencia fundamental, pero con grandes amplitudes, presentes sólo en el plano radial.

b) Inspección con luz estroboscópica

Manteniéndonos en el tema de los diagnósticos relacionados con el mantenimiento de carácter mecánico, esta técnica está orientada a inspeccionar visualmente las partes mecánicas de la máquina en condiciones dinámicas y comprobar fisuras, elongamientos, deformaciones o solturas.

c) Prueba de aislamiento

Pasando al área del mantenimiento del balance eléctrico, esta técnica está orientada a detectar el estado de aislamiento de los devanados y conexiones de una máquina. Principalmente se toman entre fase y tierra y entre fase y fase, antes y después de la placa de conexiones. Esta prueba determina el estado puntual del aislamiento para las condiciones ambientales existentes. Su aporte está en analizar mediciones periódicas anteriores y su tendencia, pudiendo inferir el estado del aislamiento futuro y por ende planificar el mantenimiento de los mismos. Se usa normalmente una fuente de corriente continua, que en conjunto con un puente comparador de resistencias determina el aislamiento de la máquina. Los aislamientos mínimos aceptados están alrededor de 1 Mohm para todo tipo de máquina.

d) Prueba de temperatura

Esta técnica está orientada a verificar el estado de la capacidad de enfriamiento de una máquina. Entraga también información sobre su aislamiento y grado de sobrecarga. Se mide la temperatura de entrada y salida del aire de enfriamiento y se compara con la gradiente de temperatura recomendada por el fabricante u otros estándares.

e) Pruebas de carga

Esta prueba está orientada a determinar la capacidad del generador para entregar su potencia de diseño, manteniendo los diversos parámetros dentro de los estándares, como ser, temperatura, corriente de excitación, velocidad, voltaje de excitación, voltaje de salida y corriente de salida. Estas pruebas, junto con las anteriores, determinan con claridad si el generador es capaz de cumplir con su propósito en las condiciones que se lo pruebe o, en otras palabras, calificar su confiabilidad en determinadas condiciones. Si se comparan los resultados históricos de esta prueba se podrá determinar el deterioro de la máquina en el tiempo.

- *Rotatorias motrices*

Al igual que en los generadores, a los motores les son aplicables las mismas pruebas explicadas anteriormente, con excepción de la prueba de carga, la que está orientada a determinar la confiabilidad del motor por medio de la comparación de sus características de salida originales con las actuales, además de los datos obtenidos en las otras pruebas.

La prueba de carga considera las siguientes acciones:

—Cálculo de la eficiencia actual, determinando las pérdidas en el fierro del estator, las que son producto de fricción, y las del cobre del estator y del rotor.

—Comparación de la característica torque-velocidad con la original.

—Comparación de los parámetros de voltaje y corriente según la carga ejercida, con los parámetros originales para la misma carga.

Para el caso de los motores eléctricos, al igual que los generadores, lo común es la falla mecánica, por lo que su dignóstico persigue fundamentalmente determinar sus condiciones mecánicas, siendo el aislamiento el único dato anexo para la determinación del estado de la máquina, ya que se asume que esta rara vez cambia sus características eléctricas.

- *Alternas*

Este tipo de máquina agrupa frenos, electroimanes y otros accionamientos que trabajan en base a un solenoide como motor del

movimiento. Su mantención es básicamente mecánica, exceptuando la referente al circuito magnético y al solenoide en sí.

En relación con el circuito magnético de este tipo de accionamiento, se puede diagnosticar su estado de amarre (armado del núcleo) por medio del análisis de vibraciones. En relación con el circuito eléctrico (solenoide), se puede diagnosticar su estado a partir de los registros históricos de su aislamiento y consumo para una carga estándar.

Para probar la condición total del dispositivo se debe medir la fuerza con que actúa en su posición de trabajo. Estando dentro de los límites establecidos, la máquina no necesitaría de mantención, si además se cumple con las otras pruebas descritas.

Máquinas semimóviles

• *Aparatos de control*

El diagnóstico se basa principalmente en las observaciones efectuadas en la inspección ocular de sus partes, midiendo sus desgastes o desajustes si es necesario. Los parámetros fundamentales de estos elementos, para asegurar su confiabilidad, son los siguientes:

—Contactos en buen estado y alineados. El estado de estos se puede verificar por inspección ocular del desgaste, que comparándolo con muestras estándares determina su recambio o no. El alineamiento se mide con la técnica del papel calco o por medio de la impresión de un molde.

—Correcto cierre y apertura de los contactos, dentro del tiempo indicado y sin cascabelear o rebotar. El diagnóstico está orientado a verificar las tensiones de los resortes del aparato, las que cuando están muy disminuidas provocan daños en los contactos debido a arcos. El correcto cierre y apertura de contactos se puede determinar por un método indirecto consistente en aplicar una tensión de corriente continua de aproximadamente el 10% de la capacidad del interruptor y graficar el comportamiento de la misma en la salida, pudiendo determinar así los tiempos y amplitudes de las transientes producidas durante la operación del interruptor y compararlas con las entregadas por el fabricante.

—Mínima existencia de vibraciones, golpeteos y ruidos. Indica que el interruptor está con sus piezas firmes y seguras.

—Temperatura dentro de los parámetros permisibles. El exceso de temperatura nos indicaría un problema de sobrecarga o disminución del aislamiento en el solenoide o que los contactos tienen muy poca presión al estar cerrados.

—Duración adecuada de contactos en el tiempo. Esto implica llevar un historial del cambio de contactos. Una frecuencia muy alta de recambio indicará problemas de alineamiento o poca tensión de los contactos o sencillamente el problema estaría en la carga que controla.

—Correcta interrupción del arco. En controladores con sistema de interrupción de arco al aire, los problemas de mala interrupción de arco son atribuibles casi exclusivamente a poca limpieza en el sector aledaño a los contactos.

—Correcto aislamiento en circuitos de control y contactos. Aseguran la confiabilidad en lo que a problemas eléctricos se refiere.

• *Protecciones*

En general, en las protecciones el diagnóstico se basa en las pruebas de operación. Dependiendo del parámetro que las actúe, deben operar dentro de las condiciones límites.

Dejando de lado las protecciones por destrucción (fusibles) sólo quedan las mecánicas, que interrumpen el circuito ante alguna señal que indique que se está fuera de los límites prefijados. Los parámetros que se deben probar son los siguientes:

—Prueba del tiempo de operación después que la señal llega al límite. Esta prueba verifica el mecanismo sensor y el actuador.

—Determinación de los niveles de señal con que actúa (verificar que esté dentro de los límites). Esta prueba verifica la regulación de la sensibilidad del equipo. Normalmente es un problema neto de balance eléctrico.

—Determinación del aislamiento. Verifica el estado de los circuitos, dando el parámetro de confiabilidad eléctrica del equipo.

—Medición de temperaturas, las que estando aceptables indican que el equipo trabaja sin sobrecargas ni fallas en el aislamiento.

Máquinas estáticas

Las máquinas estáticas prácticamente no tienen mantenimiento mecánico, por lo que su diagnóstico se orienta fundamentalmente al balanceamiento eléctrico de sus parámetros y al conocimiento del estado químico de alguno de sus componentes.

• *Convertidores*

a) Rectificadores, inversores y conmutadores

El diagnóstico de este tipo de máquinas está

orientado a detectar su estado de operatividad comparando su respuesta con los parámetros originales de la máquina, que son fundamentalmente los siguientes:

—Regulación del voltaje de salida antes del filtro. Este parámetro indica si el voltaje de salida está dentro de los límites permisibles. Esto se efectúa graficando el comportamiento de la salida de voltaje del convertidor ante diferentes escalones de carga y descarga. El diagnóstico se relaciona fundamentalmente con el estado de los diodos o tiristores y el circuito que controla el disparo. La prueba debe efectuarse sin carga y luego con carga escalonada.

—Ripple. Este parámetro nos entrega la variación de voltaje con respecto al voltaje esperado. Se mide conectando un osciloscopio en la salida y determina fundamentalmente el estado de los filtros de salida.

—Contenido de armónicas. Se mide, por medio de una descomposición de la señal de salida, la distorsión de la señal fundamental por las señales secundarias; fundamentalmente, determina el estado del circuito de disparo.

—Temperatura de trabajo. Este parámetro indica la capacidad de disipación de calor y al igual que en los generadores podría indicar sobrecargas o malos aislamientos. Se efectúa midiendo la temperatura del aire de enfriamiento en la entrada y la salida del equipo.

—Aislamiento. Determina el estado de aislamiento del circuito y se mide aplicando un 110 a un 150% del voltaje de trabajo con un Megger, debiéndose medir como mínimo 1 Mohm.

b) Transformadores

Pese a ser el transformador una máquina eminentemente estática, se le deben hacer pruebas en las tres áreas de diagnóstico: mecánica, química (si tiene aceite) y eléctrica. Las pruebas más usuales son las siguientes:

—Mediciones de sonido. Están orientadas a diagnosticar el estado mecánico del núcleo, ocupando el análisis de vibraciones. Con el equipo medidor de vibraciones se determina la oscilación producida por el transformador, ya que las fuerzas magnéticas producidas en el núcleo y las chapas de este se invierten 60 veces por segundo, por lo que una soltura mecánica de alguna parte de este vibrará a esa frecuencia.

—Mediciones de la resistencia de los devanados. Está orientada a detectar defectos del aislamiento entre las delgas del devanado. Una disminución de la resistencia indica que hay pérdida de aislamiento entre las bobinas y un aumento de ella indica una falla de continuidad, por ejemplo, soldaduras en mal estado. La prueba debe hacerse con un óhmetro de alta precisión.

—Prueba de vacío. Esta prueba determina las pérdidas en el núcleo del transformador, por histéresis y corrientes parásitas. Un aumento en estas pérdidas implicaría fallas en el aislamiento magnético del núcleo o se podrían deber a solturas mecánicas.

—Pruebas de cortocircuito. Esta prueba determina las pérdidas en el cobre del transformador. Cualquier falla en el devanado se reflejará en esta prueba y se determinará comparando los resultados con los históricos.

—Prueba del dieléctrico. Esta prueba determina el estado electroquímico del aceite aislante del transformador, aplicándole tensión a una muestra del mismo, con los electrodos sumergidos a una distancia estandarizada, hasta que se produzca conducción. Los resultados se comparan con las características originales del aceite, para determinar su estado.

—Pruebas de temperatura. Esta prueba está orientada específicamente a determinar la sobrecarga del transformador.

• *Reguladores automáticos de voltaje*

Normalmente, los reguladores automáticos de voltaje se prueban junto con sus generadores, determinándoseles su capacidad de control del voltaje a diferentes cargas. Lo usual es probar su reacción con cargas escalonadas, de conexión y desconexión, de 25% y una total de 100% de la potencia nominal del generador. Los parámetros que se miden son los relacionados con la condición estacionaria del voltaje y la condición transiente.

De la transiente se determina el *peak* alcanzado, el que en general no debe ser mayor del 15% del voltaje estacionario, y el tiempo que se demora en recuperar el voltaje final, que debe oscilar entre más o menos un 1% del voltaje nominal. El tiempo estándar oscila entre 0,1 y 0,6 segundos, dependiendo del regulador.

• *Distribución*

a) Cables

El diagnóstico de cables de poder es de primera importancia en los buques, debido al alto costo que implica su cambio, sobre todo como producto de la instalación y trabajos anexos, como prensas de mamparos, desmonte de cañerías, desmonte de equipos, etc.

El estado de los cables se aborda por tres frentes: el estado del conductor, el estado del

aislamiento y el estado de la protección mecánica.

—El estado del conductor se determina midiendo la resistencia por unidad de distancia y se compara con la original. Esta prueba determina la existencia de degradaciones químicas en el metal del conductor, fundamentalmente corrosiones.

—El estado del aislamiento se verifica primariamente por mediciones de resistencia eléctrica entre el conductor y la estructura donde va montado y además entre cada conductor (para multifilares). Esta prueba se efectúa con voltajes entre 110 y 150% del nominal. Como esta técnica no entrega el lugar preciso de la falla de aislamiento, existe la técnica de inspección por arco, en que se recorre el cable con un electrodo volante y en el lugar de la falla se producirá conducción por arco entre el electrodo y el conductor.

Las mediciones de aislamiento deben tomarse periódicamente y en condiciones ambientales similares, de modo de poder determinar la degradación en el tiempo, producto del análisis estadístico.

Por lo general, las fallas de aislamiento se presentan en las conexiones de los cables a los distintos equipos.

—Aunque el aislamiento indique una condición aceptable se debe verificar el estado mecánico del mismo doblando el cable en 180 grados (para cables flexibles), no debiendo acusar fugas en el sector de tensión.

El estado de la protección mecánica del cable se hace fundamentalmente por inspección ocular y su incidencia en el estado del cable depende del uso que se le dé.

b) Tableros

El diagnóstico de los tableros y cajas de distribución se basa fundamentalmente en la verificación del aislamiento y las condiciones mecánicas de las conexiones. Esto último debe hacerse en forma ocular, teniendo presente los datos sobre temperaturas registradas en los historiales de los tableros y cajas de distribución.

- *Baterías*

Las baterías son un área común de errores en la mantención, debido al desconocimiento por parte del usuario. Su diagnóstico se basa fundamentalmente en la determinación de la capacidad restante para acumular energía. Para determinar lo anterior existen las pruebas de carga y descarga, que relacionando el tiempo y el amperaje involucrado entrega la capacidad en amperios-hora, la que comparada con la capacidad nominal dará un porcentaje de merma en su capacidad, que como norma general no debe exceder del 30%.

En el caso de las baterías alcalinas la densidad del electrólito nos dará una indicación del estado de deterioro de sus placas, no así en las de plomo-ácido. El diagnóstico adecuado en las alcalinas toma mucha importancia, ya que son recuperables con un proceso de carga y descarga adecuado.

CONCLUSIONES

Como se planteó en las consideraciones iniciales, la mayor parte del mantenimiento de la maquinaria eléctrica en la armada se basa, fundamentalmente, en el diagnóstico previo de la misma. En la medida que la máquina contenga más elementos móviles, mayor es su degradación en el tiempo, con lo que se puede concluir que la reorientación del mantenimiento por diagnóstico debe dirigirse fundamentalmente a las fallas mecánicas, ya que las degradaciones químicas o magnéticas de los materiales usados en electricidad se detectan por las pruebas eléctricas normalmente efectuadas.

Existe un área de mantenimiento preventivo en la maquinaria eléctrica que debería mantenerse como tal; se refiere a la limpieza de los equipos, que aunque parezca de poca importancia, consume una cantidad importante de recursos.

Aunque las pruebas descritas son algunas de las muchas técnicas usadas para el diagnóstico, se puede percibir que en general existen herramientas suficientes para evitar la mantención *per se*, sin tener antes razones fundamentadas de las condiciones de la máquina, para efectuarlas.

Por supuesto que el diagnóstico no podrá abarcar todas las posibles fallas de una máquina, por lo que al calificar su estado como aceptable y evitar así la acción de mantención se corre un riesgo cuantificable en términos de la falla que pueda tener y su costo no debería ser mayor que el ahorro que se logre por no efectuar el mantenimiento.

Esta apretada síntesis de teoría y práctica del mantenimiento por diagnóstico quiso dejar el siguiente mensaje: "no gastemos recursos si podemos evitarlos, sobre todo si se cuenta con el conocimiento y las técnicas modernas para decidir sobre acciones que poco aportan comparativamente con el gasto que generan". ■