

Mantenimiento de alternadores y sistemas anexos

J.M. Bustamante

J. Trinidad

ABB Service S.A.

Existen varios sistemas de cogeneración, turbina de gas, motor de fúel, etc., donde principalmente el único elemento que tienen en común es el alternador.

El alternador en comparación con otros elementos de la cogeneración es muy fiable pero sus averías provocan una indisponibilidad alta.

Dado su gran fiabilidad y que es considerado un elemento auxiliar dentro de la fábrica, conlleva que se le presta poca atención por parte de los explotadores así como de los instaladores y mantenedores de la cogeneración. Se ha de hacer notar que los fabricantes de alternadores tampoco ayudan mucho a cambiar esta mentalidad.

Los alternadores de cogeneración (2- 10 MVA) dentro de lo que es el área de máquinas de generación corresponden a la gama baja no en calidad sino en filosofía. La gran competencia dentro de este segmento obliga a estandarizar y automatizar al máximo la producción a fin de producir un producto competitivo quedando en un segundo o tercer plano el mantenimiento a la hora de su diseño. Esto hace que el mantenimiento que indican a veces está

alejado de la realidad de la máquina sobre todo cuando han pasado algunos años.

Aunque, desde hace años, la cogeneración es un hecho, realmente su momento álgido, en cuanto a nuevas instalaciones, ha sido en los años noventa por lo que muchas máquinas han entrado ya su edad adulta con lo bueno y lo malo de ella. Es necesario, si no se ha hecho antes, empezar a pensar en un mantenimiento de las mismas a fin de evitar al mínimo la indisponibilidad por avería.

El mantenimiento adecuado permite reducir averías pero no se evitan totalmente aunque sí consigue que éstas sean menos importantes y no sean intempestivas, lo cual siempre reducirá la indisponibilidad.

Pérdidas por indisponibilidad

Cuando una cogeneración deja de producir electricidad y calor y por lo tanto el usuario debe cubrir sus necesidades energéticas por medios convencionales parte del ahorro que supone producir con la cogeneración se traduce en

■ Mantenimiento de alternadores y sistemas anexos

pérdidas económicas. Cuantificar estas pérdidas puede ser de gran utilidad ya que permite saber cuál es el coste indirecto de falta de producción por período de no funcionamiento (fig. 1).

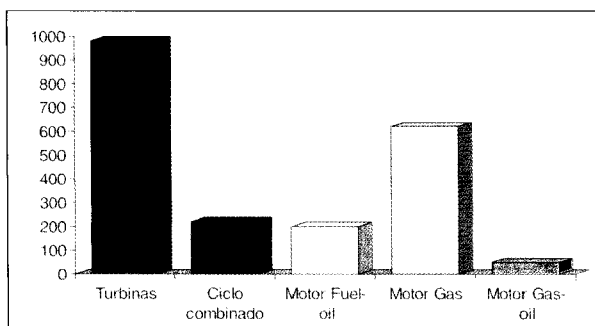


Fig. 1. Pérdidas globales (Mpta).

Tomando como referencia el parque de cogeneración industrial en Cataluña durante el año 1994 las pérdidas ocasionadas por paro de las instalaciones debido a averías fueron de aproximadamente de 2.021 millones de pesetas valor que representa una cuarta parte del ahorro económico.

Si nos referimos a indisponibilidad por averías podríamos hablar de 4.374 horas que representa un 19% anual como promedio de indisponibilidad debido a averías (fig. 2).

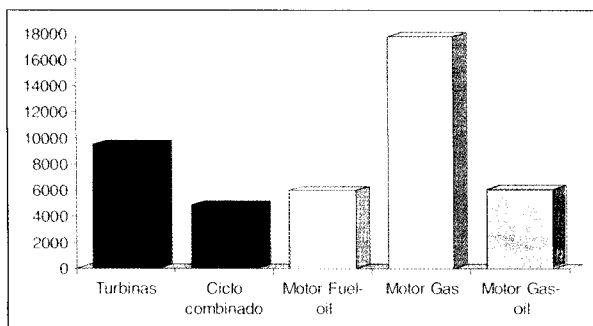


Fig. 2. Horas por averías.

La figura 3 muestra que elementos han causado más indisponibilidad.

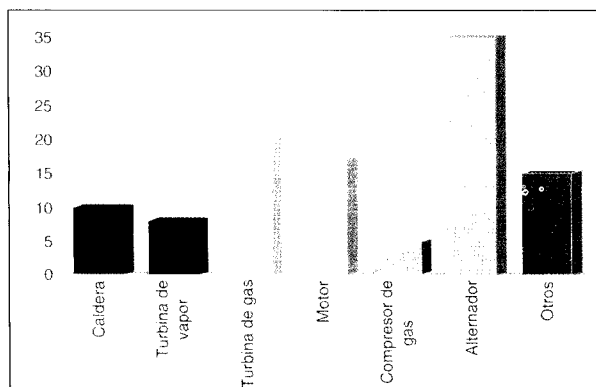


Fig. 3. Promedio de días de parada anuales.

Como vemos el elemento que ha causado más indisponibilidad ha sido el alternador. Esto es debido a que los alternadores son equipos no estandarizados que cuando se averían han de repararse en un taller, no pudiéndose encontrar una unidad idéntica para sustituirla durante la reparación. En caso de avería grave, reparar un alternador es un trabajo laborioso que necesita un tiempo mínimo tanto a nivel de materiales como de realización.

Hay que destacar que así como los alternadores son causa de grandes indisponibilidades cuando se averían, el número de averías que han padecido es relativamente bajo. Los alternadores son equipos fiables, pero cuando se averían tiene un efecto muy pernicioso en la explotación (fig. 4).

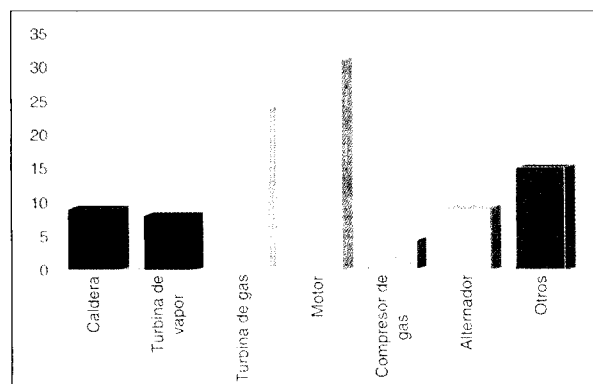


Fig. 4. Número de averías (%).

Analizando los datos anteriores podríamos afirmar que, tomando como referencia al parque de cogeneración industrial en Cataluña durante el año 1994, la indisponibilidad ocasionada por averías en los alternadores fue del 40% del total de indisponibilidad y en términos económicos se podrían cifrar las pérdidas en unos 1.000 millones de pesetas.

Ante estos hechos es evidente que dentro de la instalación de cogeneración el elemento más crítico desde un punto de vista económico es el alternador (a pesar de su gran fiabilidad). Paradójicamente es al que menos atención se presta desde un punto de vista de mantenimiento.

Una avería de importancia media en un alternador puede representar al explotador una indisponibilidad por avería del 12% en un año, pasando a un 23% en caso de avería grave.

De esto se deduce que se ha de evitar este factor de riesgo. Para ello es necesario disponer de unos métodos de diagnóstico apropiados y fiables que eviten estas indisponibilidades no programadas.

De todas formas y antes de entrar en el detalle vamos a analizar de una forma breve la estrategia de mantenimiento a aplicar y las causas más significativas que influyen sobre la vida de los pequeños y medianos alternadores de cogeneración.

Estrategia de mantenimiento

Toda estrategia de mantenimiento de alternadores de cogeneración debe tener como objetivo primordial, asegurar la disponibilidad máxima del alternador, sin que los costes de mantenimiento sobrepasen un nivel razonable. Se garantiza, de esta forma, una excelente fiabilidad del material que permite evitar pérdidas de producción imprevistas y gastos suplementarios derivados del uso de la energía alternativa indispensable en este caso. Por tanto, el mantenimiento contribuye significativamente al aprovisionamiento seguro y económico del explotador del alternador.

Las estrategias de mantenimiento no deben ser en absoluto rígidas, al contrario deben poder ser modificadas en función de las características y condiciones de la explotación de la instalación considerada. Prueba de ello, son las profundas modificaciones que han sufrido en el transcurso de los últimos años. De esta forma, las estrategias de mantenimiento a aplicar deben evidentemente ser adaptadas, a nuevas condiciones derivadas de consideraciones de reglamentación, de la red y de la experiencia adquirida en otros campos tales como centrales nucleares y térmicas.

Se distinguen dos formas esenciales de mantenimiento

- Mantenimiento en función de las averías.
- Mantenimiento en función del tiempo (fig. 5).

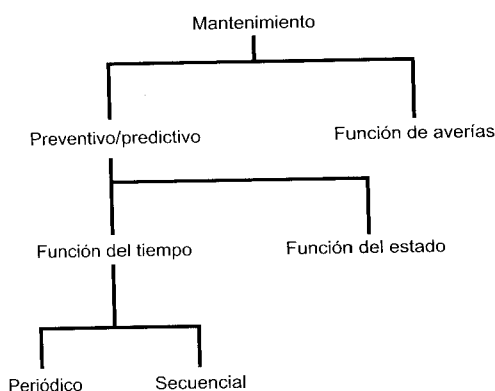


Fig. 5.

Mantenimiento en función de las averías

En este caso, se explota la instalación, sin efectuar controles o revisiones de cierta importancia, hasta la primera avería inevitable del alternador. Sin embargo, esta variante no puede ser admitida en la concepción actual de explotación de pequeñas cogeneraciones, donde lo que se busca es la máxima eficiencia y rentabilidad a medio y largo plazo.

El mantenimiento en función de averías puede ser aceptado, por ejemplo en el caso de instalaciones donde se busca una rentabilidad a muy corto plazo o existe una penuria de medios financieros. Estos casos representan ejemplos clásicos en los cuales es posible aceptar riesgos de averías aumentadas

Mantenimiento en función del tiempo

El mantenimiento en función del tiempo, corresponde a una estrategia de mantenimiento preventivo que prevé controles y revisiones en momentos ya programados.

Determinar los intervalos de ejecución de los controles y revisiones condiciona de forma significativa la disponibilidad y los gastos de mantenimiento; de manera que, intervalos muy próximos son perjudiciales para la disponibilidad y hacen aumentar los gastos de mantenimiento. De otra parte, implica un riesgo complementario en lo que concierne a la seguridad, ya que cada nueva intervención sobre la máquina es susceptible de "implantar" nuevos defectos.

El mantenimiento en función del tiempo se presenta bajo dos formas diferentes: periódica o secuencial.

En el primer caso, las intervenciones se programan, según intervalos de tiempo regulares, en cambio en el mantenimiento secuencial se fija con ocasión de cada revisión, la fecha de la revisión siguiente.

En el caso de una instalación compleja, cabe la posibilidad de prolongar los periodos de mantenimiento sin que esto suponga la reducción de la disponibilidad del equipo.

En este sentido, y bajo reserva de una adecuada política de supervisión, se continuará la explotación hasta el momento en que los dispositivos de vigilancia indiquen de manera inequívoca un deterioro del estado del material. Una vez esto suceda, se procederá a planificar cuándo deberá realizarse la acción correctora, de forma que afecte en lo menor posible a la disponibilidad de la planta y que ello no represente

■ Mantenimiento de alternadores y sistemas anexos

ningún riesgo añadido al material. Esta forma de mantenimiento es la que se denomina "función del estado de la instalación".

En función de lo indicado y ante la actual situación del segmento de la cogeneración, la única estrategia de mantenimiento adecuada, es aquella que está fundamentada en una estrategia de mantenimiento en función del tiempo a base de diagnósticos de forma secuencial y en una programación periódica flexible. Ésta es la única que puede dar respuestas válidas a las condiciones de explotación actuales de los alternadores de cogeneración, lo que hace posible a la empresa explotadora el empleo de forma óptima de su instalación.

Por otro lado, los diagnósticos periódicos son de gran interés para el explotador, ya que se puede beneficiar al máximo de la experiencia y conocimientos de los expertos, y a la vez no está obligado a proveerse de equipos sofisticados y personal muy especializado para estos diagnósticos relativamente espaciados en el tiempo.

Elementos/causas

Las causas mas importantes que influyen sobre la vida de los distintos elementos que componen un alternador y pueden provocar su indisponibilidad son los que se pueden observar en la figura 6.

Elementos / Causas	Cojinetes	Vibraciones radiales Esfuerzos axiales Refrigeración Lubricación
	Aislamientos	Tipo Temperatura Variación temperatura Esfuerzos electrodinámicos Calado bobinas / barras
	Cuerpo Magnético	Temperatura Vibraciones Aprietes
	Uniones atornilladas	Temperatura Vibraciones Cortocircuitos

Fig. 6.

Cojinetes

La vida de un cojinete está determinada por un dimensionado correcto en función de los esfuerzos que debe soportar, que son conocidos;

sin embargo se pueden producir esfuerzos no previstos por vibraciones radiales por un desequilibrio del rotor, esfuerzos axiales anormales provocados por la turbina, disminución de la refrigeración por un refrigerante en mal estado, lo que puede provocar una dilatación del cojinete con riesgo de eliminación del juego radial y por último, mal estado del aceite lubricante.

Aislamientos

El aislamiento de las máquinas eléctricas está formado por la combinación de distintos materiales, antiguamente, asfalto y mica; y actualmente por resinas sintéticas y cinta de mica.

La interdependencia entre temperatura y duración del aislamiento, que fue señalada por primera vez en 1930 por Montsinger, y a pesar de ser compleja continúa vigente en nuestros días.

Pero no es sólo la temperatura absoluta la que afecta los aislamientos, sino también las variaciones de temperatura por los defectos de dilatación y contracción. En casos de esfuerzos electromecánicos fuertes, o sea cortocircuitos, provocan esfuerzos suplementarios sobre las cabezas de bobina, que dañan mecánicamente el aislamiento.

Cuñas

Las cuñas de ranura deben tener el apriete adecuado, debido a la importancia que tiene el que las bobinas o barras estén perfectamente fijas en el interior de las ranuras, por lo que es obvio que las cuñas de ranura deben tener el apriete adecuado.

Si las cuñas están flojas, las bobinas vibran en sentido radial, por lo que las superficies laterales del manguito sufren una abrasión que daña el barniz protector antiefluvios, iniciándose una aparición de efluvios y la pronta destrucción del aislamiento

Cuerpo magnético

La temperatura influye de forma indirecta sobre la vida del paquete de chapas, ya que el aislamiento entre estas puede destruirse provocando cortocircuitos magnéticos, locales y por consiguiente, aumentos localizados muy fuertes de temperatura que afectarán al propio paquete y al bobinado.

Por otro lado, las vibraciones y el mal apriete del paquete que dan lugar a fuertes vibraciones en los dientes a causa de la inducción, provocan el deterioro del paquete e inclusive del devanado.

Uniones atornilladas

Las variaciones de temperatura con uniones atornilladas de materiales de diferente coeficiente de dilatación pueden provocar deformaciones plásticas, lo que puede conllevar a un aumento de la presión original del contacto, así al fallar el contacto eléctrico en fases de fuerte sollicitación de corriente aumenta la resistencia y provoca la avería.

En los pernos de fijación del paquete de chapas o uniones interpolares, se pueden producir por vibraciones efectos resonantes que al cabo de más o menos tiempo pueden provocar la rotura. Igual ocurre con los cortocircuitos que puedan afectar a los tornillos de fijación de los elementos de sujeción de las cabezas e incluso sobre los pernos de anclaje.

Diagnóstico de máquinas rotativas

El concepto de diagnóstico de máquinas rotativas fue acuñado a finales de los setenta y se refería a un programa específico de ensayos que permitían conocer el estado de cada elemento de una máquina y a la vez, emitir un juicio en el tiempo del estado de la misma.

Teniendo en cuenta los diversos elementos que componen un alternador se habría de aplicar el concepto de diagnóstico a cada elemento es decir a los devanados, chapa, cojinetes, etc.

Realmente en sus orígenes era así, había una diagnosis concreta para cada elemento; de hecho en la actualidad aún se aplica de esta forma en grandes turbos-alternadores que forman la potencia eléctrica base, siendo máquinas donde se pretende conseguir una disponibilidad del 100% fuera de las paradas programadas, distanciadas en intervalos que van desde los 15 meses a los 24 meses.

Sin embargo, fuera de estas grandes máquinas, el concepto de diagnóstico sólo se aplica a elementos muy específicos como el aislamiento de devanados. Esto se ha debido fundamentalmente, a la experiencia adquirida sobre la casuística de averías en máquinas y a los avances en los sistemas de instrumentación e informática, que han hecho posible la monitorización de parámetros con una fiabili-

dad que antes técnica o económicamente no eran viables además de la experiencia adquirida sobre la casuística de averías en las máquinas. De hecho, cualquier alternador de cogeneración actual dispone de monitorización de parámetros tales como: vibraciones, temperatura de devanados, de cojinetes, de entrada y salida de aire, de rotor a tierra, etc. Esto permite que ciertos ensayos sólo se efectúen cuando la monitorización avisa de la posibilidad de un defecto.

Aislamiento de devanados del estator

En el aislamiento de las bobinas del estator de toda máquina en servicio, aparecen defectos cuyo origen puede ser, tanto una deficiente fabricación, como una degradación de las cualidades de las sustancias que lo constituyen al estar sometidas a las sollicitaciones normales en servicio, lo que se denomina "envejecimiento". Estos defectos, según sea su importancia y localización, pueden dar lugar, a corto o largo plazo, a una perforación del aislamiento.

La ruptura dieléctrica debe considerarse como el último eslabón de una cadena de modificaciones de la estructura del bobinado que se producen en el curso de la explotación de la máquina, sea de manera lenta o bruscamente.

Defectos tales como golpes sufridos durante la colocación de las barras o debidos a vibraciones por sujeción imperfecta del bobinado, resbalamiento de las capas de aislamiento, erosión por partículas magnéticas, etc., son frecuentemente origen de un cortocircuito entre una barra y el circuito magnético, entre dos espiras adyacentes de una misma bobina o entre dos barras de diferentes fases.

De los diversos tipos de defectos que hemos descrito, unos son más frecuentes en la parte del devanado situada en las ranuras del estator, mientras que otros lo son en la parte externa a las ranuras.

Así, por ejemplo, el despegamiento de las capas del aislamiento y rotura de las láminas de mica por efecto de las dilataciones por temperatura son más frecuentes en el interior de las ranuras y lo mismo ocurre con las descargas parciales, pues el campo eléctrico es mayor en estas zonas. Por el contrario, los defectos debidos a golpes, vibraciones o acumulación de sustancias contaminantes son más frecuentes en la zona exterior a las ranuras, por estar más expuestos a estos agentes externos.

■ Mantenimiento de alternadores y sistemas anexos

Por otra parte, la localización más frecuente de los defectos viene influenciada también por el tipo de fabricación del aislamiento, pues es frecuente la ejecución de un aislamiento mixto, con las partes rectas de las bobinas aisladas con folio de material aislante de anchura igual a la longitud de la bobina, mientras que la parte externa a la ranura se aísla con cinta. En estos casos, el punto de unión de cinta y folio presenta una discontinuidad que es frecuentemente el origen de un defecto posterior.

Por todo lo anterior, puede afirmarse que es más frecuente la presencia de defectos en la zona exterior a las ranuras, lo que es una ventaja para su rápida localización e incluso para su reparación.

La aparición de estos defectos se debe a las siguientes causas:

a) Sustancias contaminantes

El agua y vapor de aceite condensados sobre la superficie de los aislamientos, junto con partículas de polvo arrastradas por los conductos de ventilación, dan lugar a la formación de una capa de suciedad, pudiendo además ser absorbidas hacia el interior del aislamiento, provocando una pérdida de las propiedades aislantes.

El aceite absorbido por el aislamiento es particularmente nocivo en el caso de aislamientos con aglomerante de goma laca o asfalto, pues en estos casos el aceite se desliza entre las moléculas de estas sustancias y hace un papel de plastificante, que da lugar a pérdida de las propiedades mecánicas y eléctricas del aislamiento, produciéndose un ablandamiento y aumento de volumen y un aumento de la conductividad eléctrica.

Otros tipos de aislamientos con aglomerantes a base de resinas sintéticas son mucho menos sensibles a la penetración del agua y el aceite y los efectos de estas sustancias sólo se manifiestan superficialmente o cuando existen grietas en el aislamiento por donde puedan penetrar.

b) Envejecimiento térmico

Por efecto de la temperatura, se produce a lo largo del tiempo una degradación química de ciertos componentes de los aislamientos, como algunos aglomerantes (goma laca, compuestos asfálticos) y materiales de soportes de las láminas de mica, que originan pérdida de sus características eléctricas y mecánicas. El régimen de temperatura de funcionamiento influye de tal

manera en la vida media de los aislamientos, que puede decirse que un aumento permanente de 10 °C sobre la temperatura de régimen nominal de un alternador reduce la vida de un aislamiento clásico a la mitad.

c) Efectos mecánicos debidos a las variaciones de temperatura

La diferente dilatación térmica del cobre y los materiales que constituyen el aislamiento hace que las variaciones de temperatura consiguientes a variaciones de carga de la máquina provoquen deslizamiento de unas capas sobre otras y aún, rotura de las láminas de mica por la tensión mecánica a que se ven sometidas. Este fenómeno viene facilitado, en la mayoría de los casos, por la pérdida de consistencia del aglomerante con la temperatura (caso del asfalto). El deslizamiento que con frecuencia se produce entre el aislamiento y el cobre hace aparecer, por falta de adherencia, bolsas de aire, que constituyen puntos de producción de descargas parciales, que provocan, como se verá después, una posterior degradación de los materiales del aislamiento.

d) Vibraciones

Las vibraciones presentes siempre en toda máquina en funcionamiento, producen separación y rotura de las láminas de mica que constituyen el material aislante. Este defecto está considerablemente atenuado en los aislamientos a base de papel de mica, en el cual la mica está ya muy fragmentada, constituyendo un conjunto muy homogéneo.

Por efecto de las grandes sollicitaciones mecánicas en los cortocircuitos, pueden producirse, asimismo, fracturas en el aislamiento, principalmente en la parte fuera de las ranuras.

En el caso de sujeción imperfecta de las bobinas entre sí y a los anillos de soporte en la zona fuera de las ranuras, las vibraciones pueden originar desgastes de las capas de material aislante por roce de las bobinas con otros elementos, como ligaduras o tacos de separación, reduciendo de esta manera el espesor aislante en estas zonas. Este defecto suele venir acompañado de la producción de polvo de material aislante que se deposita sobre el devanado.

e) Descargas parciales en vacíos internos

Los elementos volátiles contenidos en el aislamiento, tales como agua absorbida por el ma-

terial de soporte (papel, algodón, etc.), y no completamente eliminada con anterioridad, o disolventes de las lacas o resinas de impregnación, producen, al evaporarse, la formación de burbujas en el seno del aislamiento. Asimismo, el fenómeno del deslizamiento descrito anteriormente da lugar a la formación de vacíos internos. El reparto del campo eléctrico (inversamente proporcional a las permitividades) entre los materiales aislantes y el aire de los vacíos es tal, que el campo en el interior de estos últimos se encuentra considerablemente aumentado, siendo superior, en ocasiones al valor de la rigidez dieléctrica, apareciendo entonces pequeñas descargas en el interior (descargas parciales), que producen degradación química de las sustancias que forman las paredes de estas burbujas. Esta degradación va progresando con el tiempo, dando lugar, en último extremo, a una perforación del aislamiento en la zona afectada.

f) Golpes y erosiones por objetos metálicos

Otra de las causas frecuentes de averías es la debida a golpes sufridos por el bobinado con objetos metálicos durante los procesos de revisión o montaje, o debidos a la introducción accidental de algún objeto extraído en el entrehierro: las huellas que producen estos golpes pueden ser el origen de un arco eléctrico en servicio al cabo de un cierto tiempo como consecuencia de una degradación posterior en esta misma zona o debido a una sobretensión superior a la tensión que puede soportar el aislamiento en esta parte del devanado.

g) Cortocircuitos

Por efecto de las sollicitaciones mecánicas por cortocircuitos próximos a las máquinas, pueden aparecer en la parte del devanado exterior a las ranuras deformaciones permanentes y grietas en el aislamiento.

Devanado rotor

Los devanados rotóricos están sometidos a unas sollicitaciones eléctricas bajas, pero en contra tienen sollicitaciones mecánicas muy fuertes que, acompañado de las variaciones de temperatura pueden provocar deslizamientos axiales de las espiras, provocando deterioros en el aislamiento, lo que conduce a cortocircuitos entre espiras que se traducen, desde un aumento de la corriente de excitación hasta vibraciones anor-

males en la máquina. Otro punto importante en los devanados rotóricos es, la suciedad que se acumula en las bobinas y conexiones que pueden conducir a un descenso muy fuerte del aislamiento.

Diagnóstico de devanados

Diagnóstico de devanados. Filosofías

Dentro de la diagnóstico de devanados podemos encontrar diversas filosofías en cuanto al tipo de ensayos, técnicas a utilizar etc., fundamentalmente se pueden dividir en:

Interpretativo. Se basa principalmente en realizar pruebas en corriente continua con tensiones reducidas y a partir de cálculos teóricos y modelizaciones, determinar el estado del aislamiento:

- Ventajas: al realizar ensayos a tensiones reducidas permite que la diagnóstico sea rápida ya que los equipos son ligeros y no se han de tomar precauciones especiales debido a los niveles de tensiones empleados.
- Desventajas: Los niveles de tensión empleados hacen que el estudio del estado del aislamiento a niveles de tensiones de trabajo hayan sido interpolados, es decir no es real ya que lo que sucede en el aislamiento a los niveles de tensión de trabajo no tiene porque estar unívocamente relacionado con lo que sucede a baja tensión aparte de que algunos parámetros no son obtenidos de forma directa pero fundamentalmente la gran desventaja es que no se puede garantizar un funcionamiento continuo.

Determinativo. Se basa principalmente en realizar pruebas en alta tensión con corriente continua. Más que buscar como está el aislamiento lo que busca es determinar si el aislamiento aguantará un funcionamiento continuo.

- Ventajas: Permite asegurar que el alternador puede funcionar sin posibles problemas debidos al aislamiento.
- Desventajas: Los niveles de tensión empleados hacen que la diagnóstico no sea rápida ya que los equipos no son ligeros y se han de tomar precauciones especiales debido a los niveles de tensiones empleados.

Mixto. Éste reúne las ventajas de los otros dos ya que permite realizar un estudio profundo

■ Mantenimiento de alternadores y sistemas anexos

del aislamiento, así como garantizar la fiabilidad del aislamiento para un funcionamiento normal del alternador. Se basa en ensayos en baja y alta tensión con corriente continua y en pruebas en alta tensión con corriente alterna. Su sesventaja es que la realización de los ensayos requiere cierto tiempo ya que los equipos no son ligeros y además al realizar pruebas en continua y alterna obliga al uso de un número mayor de equipos, así como las precauciones que se han de tener debido a los niveles de tensión empleados.

Diagnosis de devanados

De lo enunciado anteriormente se deduce que el método más adecuado es el mixto al cual denominaremos a partir de ahora para simplificar, diagnosis de devanados.

Los ensayos de diagnosis de devanados se dividen en dos grupos:

- El primer grupo son aquellos fundamentales para poder determinar el estado del aislamiento.
- El segundo grupo lo componen una serie de ensayos que sin ser fundamentales complementan los del primer grupo y permiten tener un histórico de algunos parámetros que pueden ser útiles a la hora de hacer un estudio en el tiempo.

Ensayos fundamentales

• Medición de la corriente de carga y descarga

Medición de la corriente de carga y descarga del conjunto de los devanados estáticos respecto de masa aplicando una tensión continua y estabilizada de 500 V o 1.000 V.

La medición de la corriente de carga y descarga nos indica el estado del aislamiento, el cual depende ante todo, del envejecimiento, de la suciedad y de la absorción de humedad.

Para la medición se aplica entre el devanado y el cuerpo magnético, una tensión continua estabilizada y se miden, con un programa exactamente definido las corrientes de carga y descarga.

Los valores de corriente en función del tiempo obtenidos, así como los factores característicos que de ellos se derivan, nos permiten obtener información sobre la magnitud de la resistencia de aislamiento así como del grado de suciedad y humedad del devanado, en función de la cual podremos proseguir con el resto de las mediciones en AT, necesarias para la exacta evaluación del estado del devanado (fig. 7).

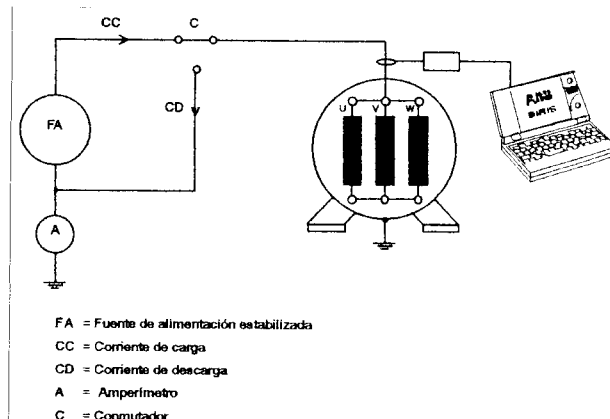


Fig. 7.

• Medición de la corriente de carga

Medición de la corriente de carga del conjunto de los devanados estáticos respecto de masa aplicando una tensión continua y estabilizada de 5 KV.

• Medición de índice de polarización

Obtención del índice de polarización de cada fase aplicando una tensión continua y estabilizada de 5 KV.

• Medición de la corriente de absorción y fuga

Medición de la corriente de absorción de cada fase y de la corriente derivada a las otras fases en función de la tensión aplicada. La tensión aplicada es una tensión continua y estabilizada llegando hasta 2,2 veces la tensión nominal.

La medición de la corriente de fuga a través del aislamiento, en función de la tensión continua aplicada, nos informa de corrientes de defecto importantes y por lo tanto de posibles puntos débiles en el aislamiento.

La medición se efectúa en principio fase por fase, aplicando una tensión continua al devanado de una fase y midiendo la corriente que circula a través del aislamiento de la fase conectada, así como la corriente que fluye de las otras dos fases conectadas a masa.

La medición se efectúa según un programa de tiempos definido, según el cual la tensión de medición aumenta escalonadamente.

Analizando las curvas observamos las corrientes totales y de derivación, medidas fase por fase, así como los valores característicos consecuencia de las mediciones. Los resultados nos permiten obtener información sobre las faltas de homogeneidad eventualmente existentes en los devanados (fig. 8).

• *Medición del factor de pérdidas dieléctricas y de la capacidad*

Medición del factor de pérdidas ($\tan \delta$) así como la capacidad del devanado en función de la tensión aplicada (fig. 9).

Su utilidad consistió en hacer posible un juicio del estado dieléctrico del aislamiento, cuyos resultados nos permiten obtener información sobre el estado general del devanado, como defectos de protección contra efluvios, falta de homogeneidad en el aislamiento y descargas internas por efluvios.

Para la medición de aplica al devanado una tensión alterna escalonada y mediante un puente de medición y un condensador patrón se determina el factor de pérdidas $\tan \delta$ así como la capacidad del devanado en función de la tensión. Se valora la forma de curva de $\tan \delta$ así como los diferentes valores característicos (valor inicial de $\tan \delta$, incrementos máximos, capacidad de los devanados, etc.). El valor obtenido a 0,1 Un. nos indica el estado de la pintura antiefluvios y el grado de endurecimiento del aglomerante del aislamiento, mientras que el incremento de valores por escalón de tensión junto con la capacidad, nos proporciona información sobre la homogeneidad del aislamiento.

Durante este ensayo también se hace una evaluación cualitativa del nivel de descargas que son detectadas además de efectuar un análisis espectral que ayuda a determinar donde se producen las descargas (fig. 10).

• *Medición de la corriente de carga y descarga del rotor*

Medición de la corriente de carga y descarga del conjunto de los devanados rotóricos aplicando una tensión continua y estabilizada de 500 V.

• *Medición resistencia de aislamiento*

Medición de la resistencia de aislamiento de elementos tales como Excitatriz, Pt 100 etc.

Hay que remarcar que, en base a la experiencia acumulada en varios centenares de ensayos, se puede demostrar claramente, en contraposición a las dudas que se han manifestado con bastante frecuencia, que, cuando el estado del devanado es normal, no se produce ningún tipo de daño en el mismo, dado que las solicitudes durante los ensayos son relativamente bajas.

A pesar de los esfuerzos realizados, no ha sido posible encontrar hasta ahora, una magnitud característica que varíe claramente en función del tiempo de explotación, de forma que puedan sacarse conclusiones, a partir de la misma, con respecto al estado del aislamiento, es

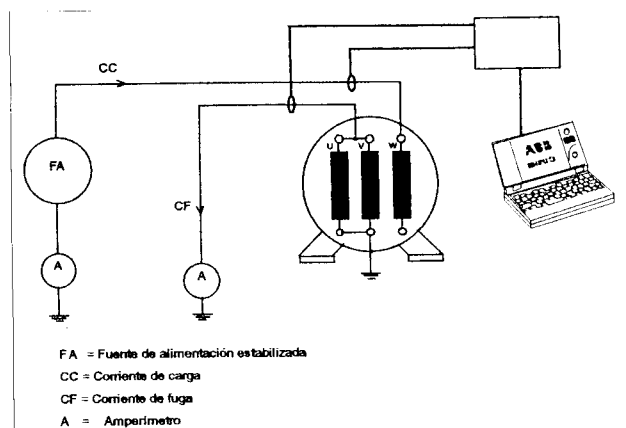


Fig. 8.

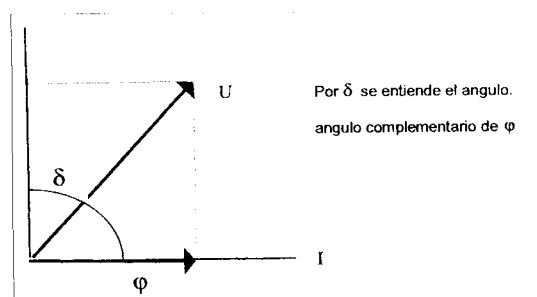


Fig. 9.

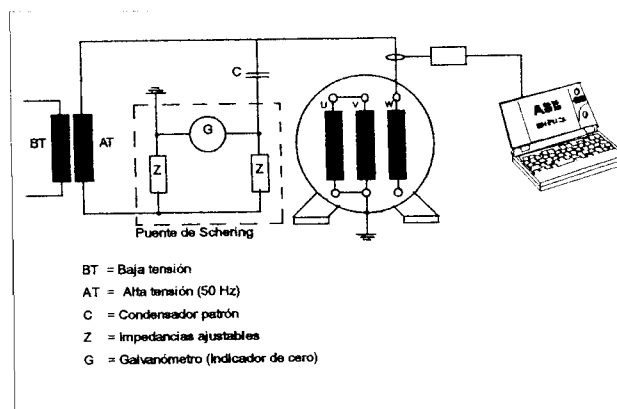


Fig. 10.

por lo que es necesario efectuar las diferentes medidas que hemos enumerado los diferentes resultados obtenidos relacionados con los valores empíricos de investigación en laboratorio y la comparación estadística con los cientos de máquinas ensayadas, que permitirán elaborar un diagnóstico fiable.

Por ello los resultados de cada ensayo pueden ser procesados y evaluados en el mismo momento, pudiendo dar un diagnóstico puntual del estado del devanado.

Pero a continuación y antes de elaborar el diagnóstico definitivo, estos datos son trans-

■ Mantenimiento de alternadores y sistemas anexos

mitidos al banco de datos, donde son comparados estadísticamente con cientos de máquinas de distintos tipos y marcas, lo que permite elaborar un informe completo del estado actual y cuál es su tendencia.

Consideraciones de los diferentes tipos de aislamiento:

Los antiguos aislamientos a base de mica y asfalto presentaban un comportamiento termoplástico con la temperatura, que tienden a una separación de las capas, con las consiguientes oclusiones de aire, lo que provoca unas fuertes descargas parciales que con el tiempo provocan la destrucción del aislante; este fenómeno se puede detectar mediante la medición de la tang δ , cuando aparecieron los nuevos tipos de aislamiento con resinas sintéticas e impregnación de bobinas VPI y más tarde, impregnación VPI del conjunto bobinas-paquete. Se pensaba que el fenómeno anteriormente descrito no sucedería, ahora bien, la experiencia acumulada a base de muchos ensayos en máquinas VPI, permite afirmar que aunque realmente el fenómeno descrito anteriormente ocurre pocas veces, se han detectado otro tipo de fenómenos tales como abrasión de las bobinas debido a vibraciones, despolimeración, elevadas descargas en ranuras etc., que antiguamente no ocurrían, por lo que la medición de tang δ sigue siendo muy importante a la hora de evaluar el estado de un aislamiento.

Ensayos complementarios

- *Medición resistencias óhmicas*

Medición de la resistencia óhmica de los devanados y PT100.

- *Medición capacidad a dos frecuencias*

En este ensayo se miden la capacidad de los devanados a dos frecuencias distintas para ello se aplica una señal baja.

- *Medición inductancia a dos frecuencias*

En este ensayo se miden la inductancia de los devanados a dos frecuencias distintas para ello se aplica una señal baja.

Los ensayos que vienen a continuación solamente se realizan cuando las condiciones de accesibilidad del alternador lo permiten. En el caso de no realizarse estos ensayos se efectuarían durante la revisión principal del alternador.

- *Medición impedancia y equilibrio de polos*

En este ensayo se miden la impedancia de los polos así como el equilibrio de tensiones que hay entre ellos.

- *Resistencias de calefacción*

Medición de resistencia óhmica y de aislamiento. Así como el consumo durante el funcionamiento normal del alternador.

Inspección visual

Dentro de la diagnosis eléctrica, la inspección visual está en un segundo plano ya que al minimizar el tiempo de parada de máquina, la inspección visual no puede realizarse de una forma completa pues durante el tiempo de la realización de la diagnosis sólo serán accesibles parte de los diversos elementos del alternador ya que el mismo no será desmontado.

En función de la accesibilidad del alternador los puntos a inspeccionar a máquina montada serán:

- Comprobación del estado de limpieza de elementos de la máquina
- Comprobación amarres y soportes devanados.
- Inspección visual del estado superficial de los aislamientos así como del barniz.
- Inspección visual del estado de la chapa magnética.
- Inspección visual del estado de los soportes de apriete de la chapa.
- Inspección visual del estado de filtros y sellos.
- Inspección visual del estado de los ventiladores.
- Inspección visual del estado de las bornas de salida.
- Comprobación par de apriete de terminales de salida.

Pruebas dinámicas

Hay una serie de pruebas de carácter dinámico que solamente se realizan en aquellas máquinas que no disponen de una moderna monitorización o bien cuando la monitorización avisa de la aparición de un valor por encima de lo consignado. También se realizan las pruebas a fin de contrastar los sensores y el software de la monitorización.

Estas pruebas son:

- *Ventilación*

Medición de temperatura y caudal del aire de entrada y salida.

- *Rodamientos*

Medición de los parámetros dinámicos característicos

- *Análisis de vibraciones*

Las vibraciones de piezas importantes sometidas a grandes esfuerzos, nos indican muy exactamente, el estado mecánico, o bien, las fuerzas que actúan sobre el sistema mecánico.

En base a las mediciones y a los análisis de las mismas a intervalos prefijados, nos permite determinar el estado en un momento dado y detectar los cambios en función del tiempo; es por esta razón que, la medición básica o "fingerprint" es de una enorme importancia como método de diagnóstico. Por tanto la medición básica debe efectuarse en un estado bien definido y que se estima como bueno, efectuándose mediciones del espectro de frecuencias a distintos estados de servicio (vacío, excitada, diversos estados de carga, etc.).

Todos los datos obtenidos, empezando por los básicos, se procesan, lo que permite efectuar en cualquier momento un estudio comparativo.

Programación de diagnosis

La primera diagnosis considera de manera especial las variaciones que se presentan en el relativamente corto tiempo de funcionamiento, comprendido entre el momento de la puesta en servicio hasta el final del primer o segundo año de servicio.

Es recomendable efectuarla debido a que los materiales sintéticos y aislantes utilizados en la construcción del alternador tienen la tendencia a fluir bajo la acción de la presión y la temperatura, especialmente poco después de la puesta en servicio. Los fenómenos de asentamiento o aflojamiento debidos a esto, pueden eliminarse en el marco de la primera revisión; con lo que los defectos inherentes a la fabricación, montaje o primera ejecución podrán detectarse y eliminarse a tiempo.

De los parámetros obtenidos de esta primera diagnosis se puede establecer cuando se hará la próxima. Normalmente si no se ha detectado nada, se suele aconsejar realizar otra transcurridos dos años y así sucesivamente hasta llegar a plazos de cuatro o cinco años, tal como está ocurriendo actualmente en máquinas de las que se dispone de datos de diagnosis desde los años ochenta.

Es bastante normal que cuando se monta una instalación se establezca un programa de mantenimiento donde se indiquen todas las revisiones y

operaciones de mantenimiento a realizar durante los próximos años. En estos casos es admisible planificar una estrategia de mantenimiento en función del tiempo y de forma periódica. Aunque las condiciones de cada planta son muy particulares se puede establecer como guía para el mantenimiento del alternador el siguiente programa.

Revisión inicial

Se recomienda efectuarla en el período de tiempo comprendido entre el momento de la puesta en servicio hasta el final del primer o segundo año de servicio

Las operaciones a realizar serían una diagnosis de devanados.

Revisión intermedia

Se recomienda efectuarla en el período de tiempo comprendido entre las 10.000 y 20.000 horas.

Las operaciones a realizar serían una diagnosis de devanados.

Revisión principal

Se recomienda efectuarla cada 40.000 horas o cada cuatro años.

Las operaciones a realizar serían una diagnosis de devanados junto con una revisión principal.

Revisión principal

Una revisión principal comprende esencialmente los trabajos siguientes:

- Extracción del rotor generador
- Control de los cojinetes.
- Inspección del rotor y del devanado del estator.
- Control del acuíñado de las ranuras, bandajes, conexiones, empalmes derivaciones y aisladores pasantes.
- Control del cuerpo de chapa del estator con respecto al prensado, daños o piezas oscilantes o daños térmicos.
- Control de la rueda polar con respecto a daños térmicos o mecánicos; acuíñado del cuerpo polar y de los devanados de los polos.
- Limpieza.

■ Mantenimiento de alternadores y sistemas anexos

Ensayos especiales a realizar durante la revisión principal

- ***Medición aislamiento de cojinetes***

Consiste en medir la resistencia de aislamiento a 500 V.

- ***Mapa de cuñas***

El método más utilizado, está basado en el antiguo sistema de golpear a mano con un martillo y consiste en un martillo excitado electromagnéticamente y un captador de las vibraciones de las cuñas, la señal captada es recogida por un ordenador haciendo el control de forma continua a lo largo de la ranura e identificando el número de ranura y los tramos de cuña que hay en toda la longitud. Los resultados son registrados y procesados, permitiendo seguir la evolución de la calidad del acuíñado.

- ***Ensayo de puntos calientes***

Las averías en el paquete de chapas, pueden producirse por distintos motivos:

- Entrada de un cuerpo extraño.
- Paquete flojo, cuya vibración puede destruir el aislamiento entre chapas.
- Destrucción por el tiempo y la temperatura del aislamiento.

Como es lógico, si se produce una deficiencia en el aislamiento o un golpe fuerte en la superficie, las chapas quedan cortocircuitadas y

los efectos del flujo magnético produce en esta zona un foco de calor local muy importante que, irremisiblemente producirá daños en el devanado y chapa.

Teniendo en cuenta las dimensiones de los pequeños alternadores, para determinar el estado de la chapa, es suficiente con inducir un flujo en el paquete mediante una bobina de inducción de varias espiras formada por un cable múltiple y con un consumo muy reducido (max. 16 A).

Una vez inducido el flujo mediante técnicas termográficas se buscan los posibles puntos calientes. Las tomas termográficas aparte de mostrar puntos calientes, permiten obtener la "fingerprint" térmica característica del paquete magnético lo que permite estudiar su evolución en el tiempo.

- ***Cortocircuito entre espiras***

En los casos en que hay sospechas de posibles defectos en el aislamiento entre espiras, bien porque en el control visual se observan desplazamientos de espiras o se han detectado vibraciones atribuibles a la excitación o los resultados obtenidos en otras pruebas lo aconsejan, mediante un equipo especial de tensión de choque, se hace este ensayo.

El ensayo consiste, en aplicar una serie de choques de alta frecuencia, midiéndose su forma en un osciloscopio y en un ordenador, las ondas registradas permiten deducir si existen cortocircuitos entre espiras y en qué punto del devanado están localizados.