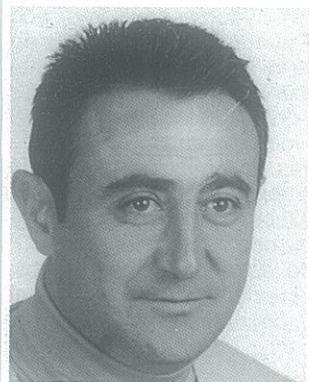




Isidoro MADRIGAL GAYUBAR es Ingeniero Naval por la ETSIN de Madrid. Ha sido Ingeniero en Prácticas en el Departamento de Armamento y Construcción en los Astilleros de Matagorda, en Cádiz, e Ingeniero en la Empresa Nacional Bazán del Ferrol, en el Departamento de Fabricaciones de Calderas y Turbinas Marinas, Fósiles y Nucleares. Durante siete años trabajó en la empresa ENHER como Ingeniero de Montaje de Tuberías y Equipos en la C. N. Ascó. Desde el año 1983 es responsable del Servicio de Mantenimiento de la C. N. Vandellós II en la Empresa Nacional de Electricidad.

DIAGNOSIS DEL ESTADO DE BATERIAS DE ACUMULADORES ELECTRICOS

I. MADRIGAL — C. M. GARCIA



Carlos Miguel GARCIA GIMENEZ es Perito Industrial Eléctrico e Ingeniero Técnico. Desde el año 1965 ha trabajado en el sector eléctrico, en las centrales térmicas de Almería, Córdoba, Málaga, Palma de Mallorca, Algeciras y Puerto Llano, como Ingeniero de Montaje y Puesta en Marcha. En el año 1970 pasa a desempeñar las funciones de Jefe de Mantenimiento Eléctrico en la C. N. Vandellós I, y actualmente desempeña las de Jefe de Mantenimiento Eléctrico en C. N. Vandellós II, cargo que ocupa desde el año 1984.

INTRODUCCION

Es conocido que una batería de acumuladores eléctricos a pesar de su buena elección y mantenimiento tiene no sólo una vida limitada, presentando signos evidentes del comienzo de su degradación y consecuentemente la pérdida de sus características de diseño, lo que le impide responder a las prestaciones que en un momento determinado pueden solicitársele, sino que a pesar de su correcta elección, utilización y mantenimiento presentan los signos antes indicados desembocando sus consecuencias en las ya también antes mencionadas.

A este fin trataremos de:

- Describir, de una parte, las técnicas más usuales utilizadas para diagnosticar, por medio de la sintomatología, el futuro fallo, bien debido a su envejecimiento o bien por motivos de problemas intrínsecos a la propia batería.
- Definir el ámbito de aplicación de las citadas técnicas.
- Definir la frecuencia de aplicación de las técnicas empleadas en la diagnosis.

Evidentemente, tales definiciones se realizarán de una forma genérica, basándose fundamentalmente en experiencias adquiridas y corroboradas con la información técnica suministrada por los fabricantes y siempre sin olvidar que es el propio fabricante de la batería, quien debe definir tanto el mantenimiento más aconsejable para su fabricado como los síntomas que definan una tendencia a la degradación del elemento.

TECNICAS DE APLICACION PARA LA DIAGNOSIS DEL ESTADO DE UNA BATERIA

Desde el punto de vista de su utilización, un acumulador se encuentra definido por un cierto número de valores característicos tales como:

- Capacidad.
- Tensión en bornes.
- Rendimiento en cantidad de electricidad.
- Rendimiento de energía.

Tecnológicamente, el acumulador se

Según va aumentando el número de barras averiadas, el motor va funcionando en peores condiciones, apareciendo grandes esfuerzos radiales descompensados que puedan dañar los cojinetes, produciéndose interferencia de rotor con estator, con consecuencias altamente destructivas para la máquina, salvo que se produzcan arranques fallidos o que la trepidación de la máquina alerte al personal de mantenimiento.

PROBABILIDAD DE ESTAS AVERIAS

El tipo de fallo descrito tiene una incidencia relativamente alta entre las escasas averías de los motores de inducción: Un estudio realizado en el año 1981 por ASINEL (1) en 3 centrales térmicas, revela que más del 15% de las 78 averías en motores de inducción estudiadas fueron motivadas por fallo en la jaula. Estudios más extensos realizados por el EPRI (2) en USA indican que la cifra de fallos alcanza el 10% del total de averías registradas.

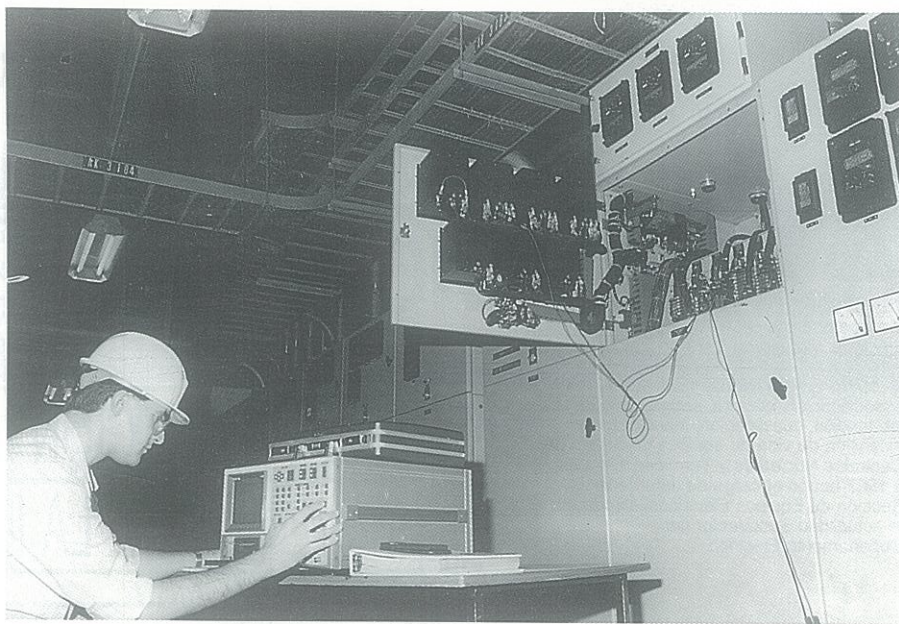
DIAGNOSTICO TRADICIONAL

La forma de detectar la avería en la jaula de ardilla, tradicionalmente estaba limitada por las gamas de mantenimiento preventivo, a la inspección, tras un desmontaje de la máquina con extracción de rotor. Dependiendo del fabricante del motor y de su forma constructiva de realizar las soldaduras barra-anillo, y salvo que aparezcan síntomas secundarios como foguero o evidencias de alta temperatura, puede resultar muy difícil detectar estas averías.

FENOMENOS ASOCIADOS A LA AVERIA EN LA JAULA

La avería en la jaula de ardilla de un motor de inducción produce una asimetría electromagnética del devanado rotórico a la que van asociados diversos fenómenos: (3)

- VIBRACIONES: El fallo de barra provoca la aparición de vibraciones que en sentido radial están asociadas a la frecuencia de paso de barra y cuando aparecen en dirección axial, al deslizamiento (s).
- OSCILACIONES DE VELOCIDAD: Cuando el equipo conducido representa un par constante para el motor y la inercia completa del árbol no es muy grande, la rotura de barra oca-



El registro de datos y el análisis previo se realiza cómodamente en la cabina de maniobra del motor.

siona una modulación de la velocidad (oscilaciones) a dos veces el deslizamiento.

- FLUJO MAGNETICO AXIAL: La asimetría electromagnética provocada por la avería de barra origina componente de flujo magnético axial a la frecuencia doble del deslizamiento, que puede ser detectado mediante sondas magnéticas sobre el eje.
- MODULACION DE LA INTENSIDAD: La intensidad consumida por el motor, cuando éste tiene una avería en la jaula, en vez de ser de amplitud

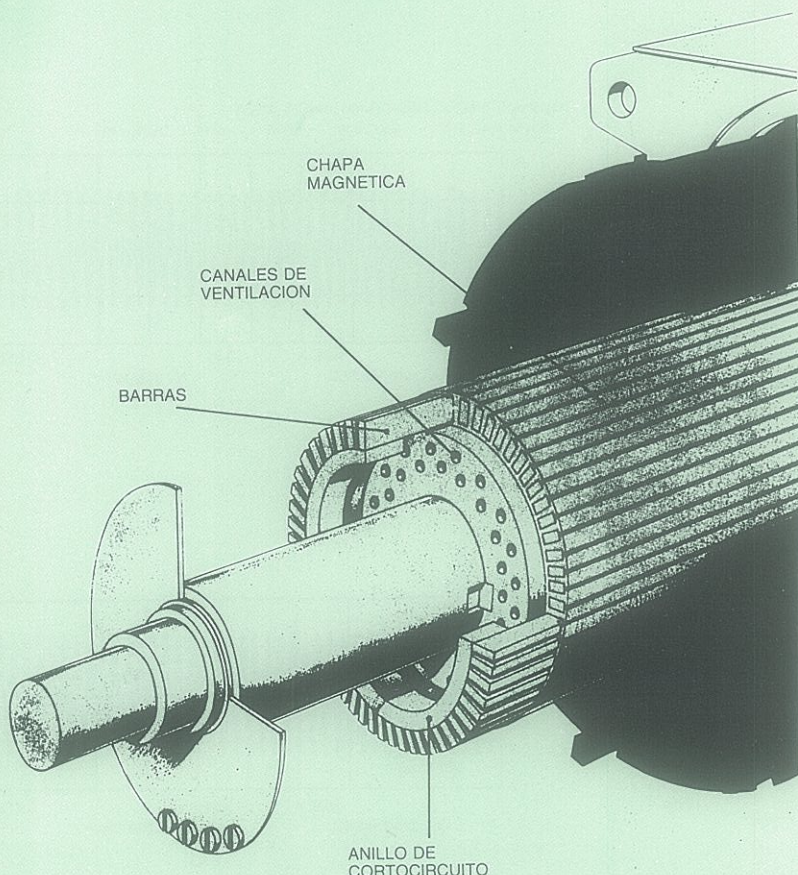
estable, aparece modulada con componentes dos veces el deslizamiento.

La fenomenología descrita abre un abanico de posibilidades de detección y evaluación de la avería, todas ellas basadas necesariamente en el análisis reconocibles como asociados a avería en el rotor, son componentes espectrales ligados a la frecuencia de las corrientes en el rotor del motor. (Ligados al deslizamiento.)

Los fenómenos citados pueden originar técnicas de diagnóstico, todas ellas con

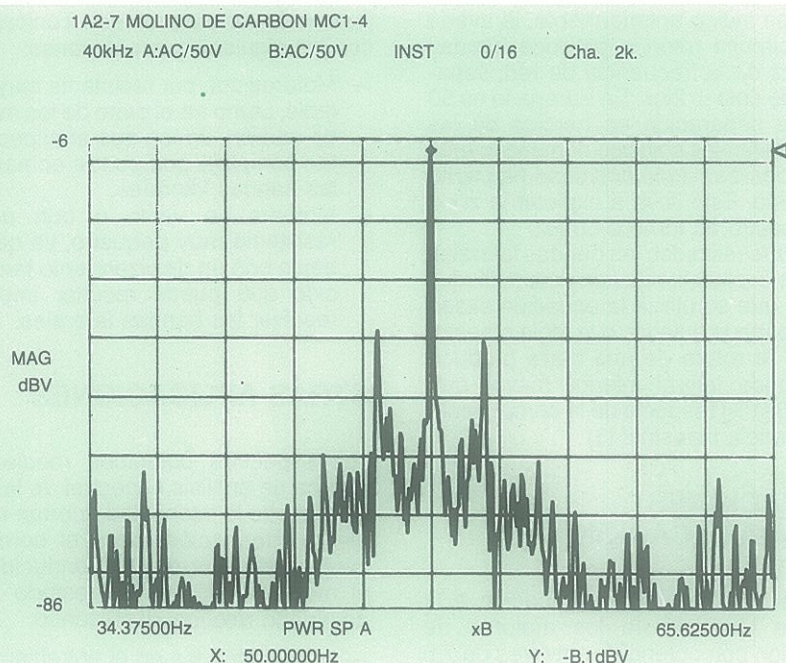


Detalle de la disposición de la sonda de corriente en un circuito secundario de protección.



Elementos constitutivos de un rotor del tipo "Jaula de Ardilla".

Espectro de la intensidad del motor de un molino de carbón. La complejidad del mismo es debida a la inestabilidad del par resistente.



la ventaja de ser técnicas no invasivas, utilizables con el motor funcionando en condiciones normales, sin trastorno alguno posible de su operación.

DIAGNOSTICO BASADO EN EL ANALISIS DE LA INTENSIDAD ESTATORICA

Empresarios Agrupados ha elegido el método de análisis de la intensidad consumida por el motor, ya que adicionalmente a las ventajas asociadas a la no perturbación de la operación de la central, comunes a todos ellos, evita el desplazamiento de personal y equipo a pie de máquina, ya que la medida puede hacerse en la cabina de maniobra del motor. El diseño habitual con centralización de las cabinas de maniobra o de los CCM ubicándolos en áreas limpias, espaciales y con buena iluminación y niveles de ruido reducidos, permite el diagnóstico de conjuntos completos de motores de forma rápida y cómoda.

La medida de la intensidad, por otra parte, se realiza con un elemento tan simple y fiable como un transformador de intensidad de núcleo partido (pinza de corriente), bien sobre el cable de fuerza, o sobre los circuitos secundarios de intensidad (protección o medida) lo que no entraña riesgo alguno ni para el personal, ni para la máquina.

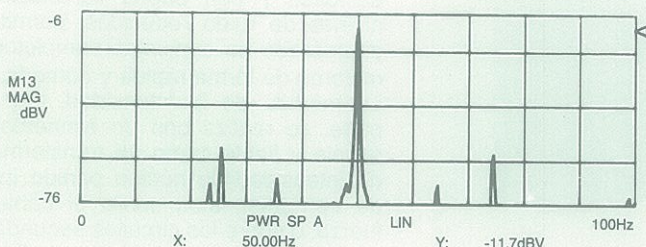
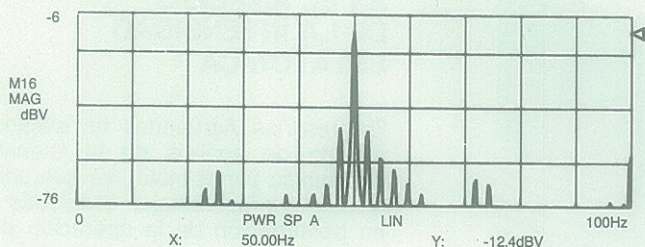
FUNDAMENTOS

Para comprender las consecuencias que sobre la intensidad en el estator provoca la rotura de una barra (o la pérdida de la soldadura de la barra con el anillo de cortocircuito) resulta cómodo superponer a un rotor sano un modelo de rotor consistente en una jaula pasiva con una única fuente de intensidad en una de las barras, tal que neutralice en todo momento la intensidad que circularía por la barra averiada, si estuviera sana.

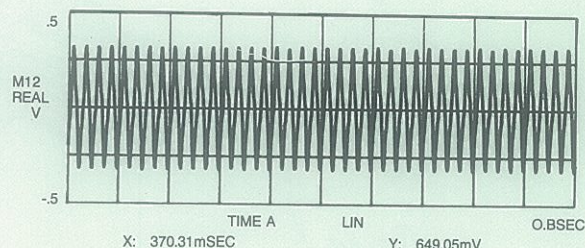
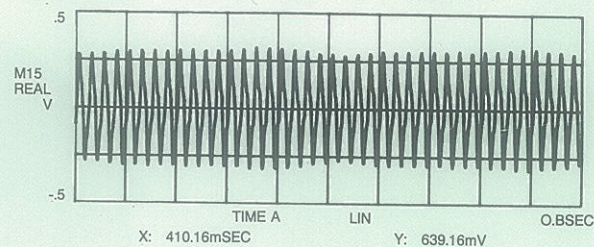
La intensidad inyectada en la barra averiada se reparte, en el anillo de cortocircuito, por el resto de las barras (están en paralelo) de forma decreciente al alejarse del defecto.

Estas corrientes, superpuestas con las correspondientes al rotor sano, crean un campo magnético que induce en el devanado del estator una f.e.m. que hace que circule una intensidad a la frecuencia de $f_0(1-2s)$ superpuesta a la intensidad a frecuencia industrial (f_0), siendo s el deslizamiento del motor (6). La amplitud de la corriente inducida respecto de la corriente de carga del motor depende fundamentalmente del número de barras rotas según la fórmula:

"ESPECTROS" BAC-4 (arriba), BAC-5 (abajo)
40kHz A:AC/50V B:AC/50V INST 0/16 DUAL 1k



Registros "TIEMPO", BAC-4 (arriba), BAC-5 (abajo)
40kHz A:AC/50V B:AC/50V INST 0/16 DUAL 1k



Intensidad-tiempo y espectro de dos motores gemelos. En el registro tiempo del BAC-4 se aprecia una importante modulación de la intensidad que da origen a las bandas laterales que aparecen en el espectro.

$$\frac{I_i}{I_c} \approx \frac{\sin \alpha}{2p(2\pi - \alpha)}$$

$$\text{siendo } \alpha = \frac{2\pi n p}{N} \text{ si } n \ll N$$

donde:

p es el número de pares de polos
n el número de barras contiguas rotas
N el número total de barras del rotor (6)

ANALISIS E INTERPRETACION

La señal de la intensidad en el motor, recogida por la pinza de corriente, se conduce a un analizador de espectros, el cual, habitualmente mediante la transformada rápida de Fourier (FFT), obtiene la densidad de potencia espectral, es decir, la contribución en amplitud de cada frecuencia a la forma de onda de la intensidad.

Como se indicó anteriormente, la avería en el circuito rotórico produce bandas laterales de la frecuencia de red, separadas de ésta $\pm 2f$. En Europa es 50 Hz y la separación en hercios de las bandas laterales coincide numéricamente con el deslizamiento expresado en tanto por ciento. Esto lleva a explotar la zona del espectro en torno a 50 Hz.

Una vez localizadas las bandas laterales hay que evaluar la relación de amplitudes para lo que se utiliza la ecuación citada en el apartado anterior, o la regla maestra de que la rotura de una barra produce una banda lateral inferior mayor que -40 dB (1%) respecto de la componente a frecuencia industrial (5).

LIMITACIONES EN LA APLICACION

Esta técnica resulta de aplicación a la práctica totalidad de los motores de inducción con potencias mayores de 7,5 kW, sea cual sea el diseño del rotor

(bobinado, ranura profunda...) únicamente con las siguientes excepciones:

- Motores con par resistente muy inestable, como en el caso de los molinos de carbón, en los que el espectro es tan complejo que puede enmascarar las bandas laterales.
- Motores en vacío o con un par resistente muy pequeño, ya que trabajan con un deslizamiento tan reducido que puede resultar imposible resolver las bandas laterales.

OTRAS APLICACIONES

Los espectros obtenidos mediante la técnica de análisis espectral de la forma de onda de la intensidad aportan mucha mayor información sobre el comportamiento del motor-equipos conducidos, que el mero diagnóstico del estado de su devanado rotórico, destacando:

- irregularidades en el entrehierro
- descentrado magnético

- flexión del eje
- alineación de ejes incorrecta
- desequilibrio, etc.

ya que el motor se comporta como un transductor de par que refleja todos los componentes espectrales del par en el

entrehierro como componentes espectrales de la intensidad en el estator (3).

BIBLIOGRAFIA

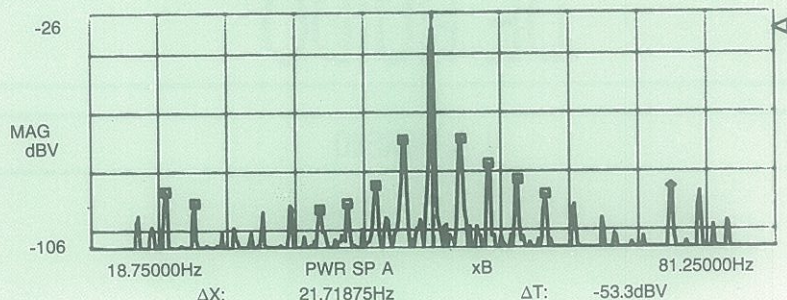
- (1) ASINEL GRUPO G2. *Análisis de fallos en motores eléctricos de media tensión en centrales térmicas*, 1981.
- (2) EPRI EL-2678 1982. *Improved Motors for utility applications*.
- (3) PETER J. TAVNER AND JAMES PENMAN. *Condition Monitoring of Electrical Machines*. Research Studies Press LTD. ENGLAND, 1987.
- (4) DELEROI, W. *Der Stabburuch im kagflanfer eines Asynchronmotors*, Archiv fur Elektrotechnik, 1984.
- (5) G. B. KLIMAN Y OTROS. *Non - invasive detection of broken rotor bass in operating induction motors*. IEEE. Transactions on energy conversion, Diciembre 1988.
- C. HARGIS; B. G. GAYMON y K. KAMASH. *The detection of rotor defects in induction motors*. Conf. Proc. IEEE. Conf. on ELECTRICAL MACHINES. London. Julio 1982.
- UNESA SL-01. *Guía para la vigilancia del envejecimiento de equipos clase 1E en centrales nucleares*. Mayo 1989.
- NEALE, N. y ASSOCIATES. *A guide to the condition monitoring of machinery*, HMSO, London, 1979.

BAC-4 dic/88

40kHz A:AC/50V B:AC/50V INST 0/16 DUAL 1k

PWR SPECTRUM Cha 4.ON

1	-24.37500Hz	-54.7dBV
2	-21.71875	-58.7
3	-10.31250	-61.1
4	-7.81250	-59.1
5	-5.15625	-52.8
6	-2.65625	-37.2
7	2.65625	-37.0
8	5.15625	-45.4
9	7.81250	-50.9
10	10.31250	-55.7



Espectro de la intensidad de un motor con evidentes síntomas de avería en la jaula de ardilla. En la parte superior figuran las frecuencias y amplitudes relativas respecto de 50 Hz, de cada componente espectral marcado con un □.

viene de la pag. 31

- Densidad baja y tensión alta falta de electrolito debido a derrames o envejecimiento.

Densidades superiores a las máximas establecidas indican adición incorrecta de ácido.

La observación del peso específico del electrolito durante la carga de una batería puede también orientar hacia una diagnosis de falta. Un aumento lento de la densidad con la carga es indicativo de cortocircuito entre placas, bien debido a sobrecalentamientos excesivos, bien a sedimentos en el fondo del acumulador. Un aumento excesivamente rápido de la densidad con la carga indicará la sulfatación de las placas, con lo que el acumulador, después de su proceso de carga quedará sólo parcialmente cargado. Un ensayo de capacidad posterior podrá confirmar la diagnosis realizada. Durante el proceso de carga de acumuladores interiormente manipulados es normal un descenso de la densidad del electrolito seguido de un aumento y normalización del mismo.

ACUMULADORES NIQUEL-CADMIO

El electrolito empleado normalmente es una solución de potasa cáustica, cuyo

peso específico depende del tipo de batería y oscila en términos generales entre 1.16 a 1.23.

Como quiera que, a diferencia de las baterías Plomo-Acido, durante la carga y descarga del elemento del electrolito no toma parte en el proceso de la reacción, el peso específico del acumulador no varía, en este tipo de baterías no tiene mayor importancia la vigilancia de este parámetro.

Sin embargo, y debido a la absorción del ácido carbónico del aire por el electrolito, éste se carbonata apareciendo problemas de conductividad eléctrica y, consecuentemente, de envejecimiento del elemento. Por este motivo se necesita realizar el seguimiento del electrolito mediante análisis cuantitativos de la concentración de CO_3K_2 y KOH , y cuyos límites normales se establecen generalmente en:

- Concentración de CO_3K_2 : Máximo 100 gr/litro.
- Concentración de KOH : 220 gr/l. "KOH" 320 gr/l.

NIVEL DE ELECTROLITO

Común a ambos tipos de acumuladores es la observación del nivel de electrolito, ya que su descenso sistemático indica si

bien no problemas en el acumulador, si manipulaciones indebidas en su proceso de carga y descarga.

FRECUENCIA DE INSPECCIONES

A título orientativo expresamos en la tabla I de una forma genérica, las frecuencias de inspección más usuales para una buena conservación de baterías y una pronta diagnosis de posibles averías que puedan dejar inoperables sistemas de alimentación tan sumamente responsables como son las baterías de acumuladores.

BIBLIOGRAFIA

Para la elaboración de este documento se ha utilizado entre otras, las publicaciones:

- Acumuladores (Monografías CEAC).
- Techniques de l'Ingenieur.
- Manuales de fabricantes Tudor y Saft-Ibérica.

Además se han recopilado experiencias Técnicas y Operativas de las Secciones Eléctricas de las diferentes CC.NN.