

Diagnóstico de problemas de asimetrías rotóricas en un motor de inducción de gran potencia.

N. Soto Salvá*, F. de la Torre Silva.**

*Central Termoeléctrica Este Habana; Vía Blanca, Km. 45. Santa Cruz del Norte; Provincia Habana; Teléfono: 29-31-32;
E – mail: nestorsot@ctehabana.minbas.cu

**CEIM; ISPJAE; C. Habana; 2663642; francisco@ceim.cujae.edu.cu

(Recibido el 24 de mayo de 2007; aceptado el 22 de Julio de 2007)

Resumen.

Este diagnóstico se ha realizado en un total de 14 motores de inducción, todos ellos de jaula de ardilla y de 6 000 voltios. Se hará referencia al último diagnóstico realizado que se trata de un motor de una bomba de agua de alimentar caldera tipo 4A3M-2500/6000 CT4 de una unidad generadora de electricidad de 100 MW. Mediante las técnicas de diagnóstico empleadas se logró determinar roturas de barras en la jaula de ardilla del rotor del motor.

Palabras claves: Motor de Inducción, espectros, diagnóstico, jaula de ardilla, fallas.

1. Introducción.

Una de las primeras causas de fallos, en los motores de inducción de grandes potencias, lo constituyen las roturas de las barras del rotor de jaula de ardilla. El motor de inducción es el motor eléctrico más ampliamente utilizado en la industria (aproximadamente un 85% del total de los motores). La variante de jaula de ardilla presenta la gran ventaja de ser un motor de construcción simple, robusta, de bajo coste y que requiere un mantenimiento mucho menor que cualquier otra máquina rotativa al carecer de escobillas, colector de anillos o colector de delgas. [1]

En el año 1998 comenzaron a realizarse los primeros estudios en la central termoeléctrica Este-Habana sobre la determinación de problemas de asimetrías rotóricas en estos motores y en especial a la determinación de las roturas de barras en la jaula de ardilla del rotor. Se ha podido diagnosticar este tipo de falla en motores de agua de alimentar calderas, motores de ventiladores de tiro inducido y forzado de calderas, motores de bombas de condensado y motores de bombas de petróleo. Se ha observado que la rotura de la barra ocurre en la zona de unión de la barra con el anillo de cortocircuito. En la **figura 1** se muestra una representación de la jaula de ardilla del rotor del motor y la zona de fractura.

Además de roturas de barras, hemos podido también observar, fisuras o grietas en la zona de unión de las barras con los anillos de las que aún no han fracturado. Lógicamente, estas grietas conducirán mas tarde a la fractura de la barra.

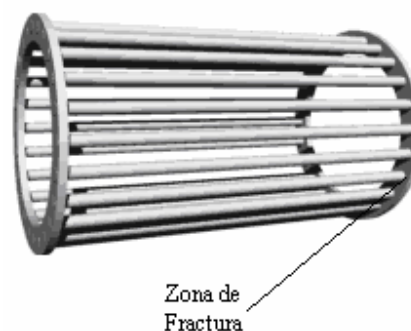


Figura 1. Jaula de ardilla del rotor.

Las técnicas de diagnóstico que hemos utilizado en la determinación de estas fallas han sido, las mediciones de vibraciones con el análisis de los espectros y las mediciones de las corrientes estatóricas con el análisis de sus espectros de igual forma.

2. Diagnóstico realizado a un motor de agua de alimentar calderas.

El motor diagnosticado había sido reparado 3 años atrás y detectado roturas de barras. Al realizar la inspección en un mantenimiento se observó la fractura de 3 de sus barras. Se reparó la falla y volvió a entrar en explotación. Al entrar en servicio, una vez reparado, fue

monitoreado con análisis de vibraciones y con análisis de las corrientes estatóricas con periodicidad mensual. Después de 2 años en explotación comenzó a observarse el inicio de degradación en la jaula de ardilla. Esta degradación fue aumentando con el tiempo de servicio hasta alcanzar valores de condición severa y hubo de sacarse fuera de servicio.

Para el diagnóstico se empleó el vibro-analizador MICROLOG CMVA-55 de la firma SKF con acelerómetro SKF, modelo CMSS787A y pinza amperimétrica de la firma F. W. BELL, modelo Y8100. Este equipo está destinado para la obtención de espectros de vibraciones, como también de espectros de las corrientes estatóricas mediante el empleo de la pinza amperimétrica que se suministra como accesorio adicional con el equipo.

El análisis de corriente utiliza información espectral de la corriente de red consumida por el motor de inducción de corriente alterna. Esta técnica es similar al análisis de vibración ya que ambas usan un espectro, o una gráfica de amplitud VS frecuencia para el análisis [2]. En la obtención del espectro de vibración fue utilizado un transductor piezoeléctrico (acelerómetro) y se empleó una escala lineal de Amplitud VS Frecuencia. En la obtención del espectro de la corriente del bobinado del estator fue utilizado una pinza amperimétrica y se empleó una escala logarítmica de Amplitud VS Frecuencia, llamada escala de decibelios (db). Si a esta escala le damos a la amplitud de la frecuencia de red un valor de 60 db, entonces las bandas laterales de baja amplitud para un motor en buenas condiciones tendrá un valor cercano a los 0 db. Si la amplitud de las bandas laterales comienzan a ser superior a 0 db entonces estamos en presencia de uniones de alta resistencia, formación de porosidades o fisuras en el rotor o la existencia de barras rotas en la jaula de ardilla del rotor [2].

La degradación de la jaula del rotor pudo ser detectada, desde su estado insipiente por el espectro de corriente del Estator, en el cual se producen una serie de armónicos, siendo los más significativos el lateral inferior y el lateral superior, situados a ambos lados del armónico fundamental y separados de este a $+2Sf$ y $-2Sf$, siendo S el deslizamiento del motor y f la frecuencia de la red eléctrica [3].

La amplitud de estos armónicos depende de la amplitud del campo provocado por la rotura de la barra y por tanto, del grado de rotura y del número de barras con problemas.

La diferencia de amplitud entre el armónico lateral inferior y el fundamental es el parámetro de diagnóstico de control y a partir de esta diferencia se evaluó el surgimiento y seguimiento de la falla. En la figura 2 se muestra el espectro de la corriente estatórica del motor

analizado. La diferencia de amplitud entre el armónico lateral inferior y el fundamental es de 27 db, lo cual representa una degradación severa de la jaula de ardilla del rotor.

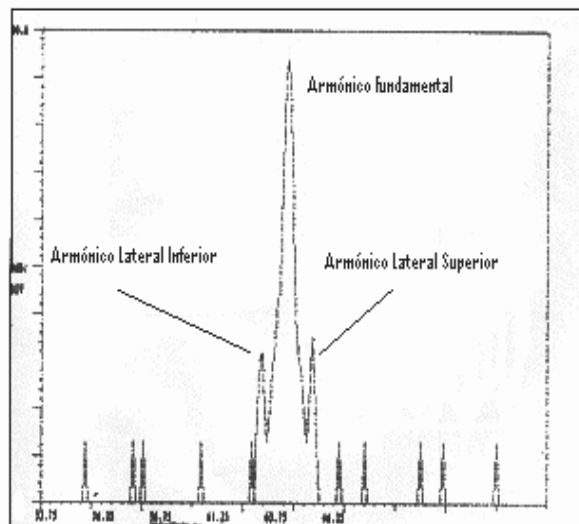


Figura 2. Espectro de la corriente del Estator obtenido en el motor de análisis.

En la tabla 1 puede apreciarse los grados de roturas en dependencia de la diferencia de amplitud entre el armónico lateral inferior y el fundamental.

Tabla 1 - Grado de rotura en dependencia de la diferencia de amplitud entre el armónico lateral inferior y el fundamental.

GRADO	DIFERENCIA DE AMPLITUDES EN dB
MOTOR SANO	54 - 60
ACEPTABLE	48 - 54
MEDIA SECCIÓN DE BARRA ROTA	42 - 48
UNA BARRA ROTA	36 - 42
VARIAS BARRAS ROTAS	30 - 36
PROBLEMAS SEVEROS	Menor de 30

Mediante el análisis vibracional se corrobora que al producirse la rotura de una barra en la jaula, la distribución de corrientes que esta transporta se altera, incrementándose la amplitud de ciertos armónicos del campo, que al interaccionar con las corrientes producen fuerzas pulsantes [4]. Estas fuerzas dan lugar a vibraciones de frecuencias características que suelen

aparecer en torno al armónico fundamental del espectro de vibración en forma de bandas laterales de anchura (1):

$$d = 2p \frac{N_s - N}{60} \quad (1)$$

Donde:

P: Número de pares de polos del motor.

Ns: velocidad de sincronismo en r.p.m.

N: Velocidad real en r.p.m.

La figura 3 representa el espectro de vibración obtenido en el motor de análisis. El armónico señalado se corresponde con el fundamental (59.38 Hz).

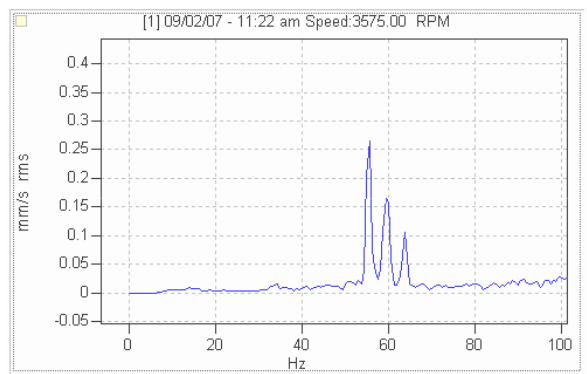


Figura 3. Espectro de vibración en la dirección vertical del cojinete lado acoplamiento del motor 4A3M-2500/6000 CT4

3. Resultados y discusión.

En nuestro criterio la rotura de una o dos barras en la jaula de ardilla de un rotor de un *Motor de Inducción de Gran Potencia* no debe ser motivo de parada inminente del equipo si esta parada va a afectar el proceso productivo. Si la degradación se encuentra en estado muy avanzado si es aconsejable realizar la reparación lo antes posible, pues cuando existen varias barras rotas el rotor tiende a la torsión debido al calentamiento desigual en sus diferentes partes y entonces no podrá ser reparado. También mientras más sean las barras rotas, más se va a encarecer el costo de la reparación.

De lo anterior se puede deducir que al presentarse una anomalía de este tipo se debe realizar una valoración económica entre la necesidad del proceso productivo, costo de la reparación y evitar el daño total del rotor por torsión que provocará la necesidad de comprar un motor nuevo, pues los fabricantes no venden los rotores de sus motores de forma independiente. Para las instalaciones que poseen equipos de reserva, esto se hace menos engorroso pues se puede poner en servicio la reserva y acometer rápidamente la reparación en el motor dañado

sin necesidad de afectación del proceso productivo.

Se considera de vital importancia la realización del diagnóstico de asimetrías rotóricas pues este contribuye a la economía del país. El costo de estos motores es elevado y cuidando la integridad del rotor estamos alargando la vida útil de los motores que tenemos en servicio en nuestro país. También las roturas de barras pueden causar serios daños mecánicos al aislamiento y a los devanados, provocando costosas reparaciones [5].

Se ha podido observar que en un motor con asimetrías rotóricas aumenta el consumo de corriente y disminuyen las revoluciones nominales de operación que provocan una disminución de los parámetros de trabajo del mecanismo accionado.

Mediante el diagnóstico de asimetrías rotóricas se puede determinar también otros problemas como son; excentricidades estática y dinámica.

4. Conclusiones

Un factor muy importante a tenerse en cuenta para conservarse la integridad y durabilidad de la jaula de ardilla lo constituye la no violación de la cantidad de arranques en el motor en la unidad de tiempo, especificado en los datos del fabricante. En el arranque de estos motores, la corriente consumida suele alcanzar un valor entre 7 y 10 veces superior a la nominal. Este valor alcanzado de la corriente durante el proceso de arranque hasta las r.p.m. nominales ocasiona un calentamiento superior al de trabajo en las barras y anillos, que al aumentarse la cantidad de arranques en la unidad de tiempo a las especificadas por el fabricante, este calentamiento suele ser superior a las que pueden soportar las soldaduras de las barras en los anillos y da lugar a la fractura o falla prematura de la barra.

La detección oportuna mediante el diagnóstico, de estas anomalías, contribuye de forma significativa en el factor económico ya que nos permite realizar la reparación a tiempo, que conlleva un menor costo y también evitará la inutilización completa del motor por torsión del rotor que dará lugar a la necesidad de comprar un motor nuevo.

Se considera necesario aplicar ambas técnicas (la de vibración y la de la medición de las corrientes estatóricas) en el diagnóstico de estas fallas, pues si bien las mediciones de las corrientes estatóricas con sus espectros, detectan de forma más temprana que los espectros de las mediciones de vibraciones el comienzo de la falla, durante el transcurso del tiempo y el agravamiento de la falla pueden ocurrir modulaciones en las señales eléctricas, que provoquen de igual forma modulaciones en los espectros de corriente y por ende variaciones o modificaciones del diagnóstico mediante la medición de corrientes. Con la comparación de los

espectros de vibración y los de corriente se realiza un mejor seguimiento de la falla y se evita el riesgo de variaciones o modificaciones del diagnóstico.

En nuestra experiencia, la rotura de la barra se produce en la zona de unión de la barra con el anillo de cortocircuito.

En los años que llevamos realizando este tipo de diagnóstico solo hemos observado un rotor con torsión. Su jaula de ardilla poseía gran cantidad de barras rotas.

En nuestro país, años atrás no se valoraba con el rigor necesario este tipo de falla pues no existía la posibilidad de realizar esta reparación. Hoy día, si es posible la realización de la misma, por lo que debemos incluir en los diagnósticos que realizamos en nuestras fábricas la determinación de asimetrías rotóricas en los motores de inducción de grandes potencias.

A esfera internacional este tema es ampliamente debatido y se divulgan otras técnicas a emplear para determinar las asimetrías rotóricas, como son las mediciones de flujo magnético de dispersión del motor, las de los modelos de elementos finitos y otras, pero no se rechazan las técnicas de las que hemos hablado. Por tal motivo, se recomienda para los que comiencen a incluir esta determinación de fallas en los diagnósticos que realizan en sus fábricas comenzar aplicando los métodos mostrados, pues son bastante eficaces y en nuestro país existen los vibro-analizadores que con la

adaptación de una pinza amperimétrica permitirán la realización de la aplicación de ambas técnicas.

REFERENCIAS

[1]- O. Duque, M. Pérez, D. Moriñigo. Detección de fallos en motores de inducción alimentados por convertidor empleando el análisis del espectro de la corriente de alimentación. XVI Reunión de grupos de investigación de ingeniería eléctrica. Mallorca, abril de 2006.

[2]- Paquete Informativo de Mantenimiento Predictivo de la Escuela Superior de la Industria Básica.

[3]- Duque, O. y Pérez, M. "Motores de Inducción. Técnicas de Mantenimiento Predictivo". Ed. Abecedario, 2005.

[4]- Fernández Cabanas, Manés. Técnicas para el Mantenimiento Predictivo y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas Rotativas. Editorial de la Universidad de Oviedo.

[5]- Alfonso Piñol, Juan Antonio Ortega, José Luis Romeral. Mantenimiento predictivo de motores de inducción.

Diagnostic of high power induction motors failures.

Abstract:

This diagnosis has been carried out in a total of 14 induction motors, all them of squirrel cage and of 6 000 volts. Reference will be made to the last carried out diagnosis that it is a motor of a bomb of water of feeding boiler type 4A3M-2500/6000 CT4 of a generating unit of electricity of 100 MW. By means of the techniques of diagnosis employees it was possible to determine breaks of bars in the cage of squirrel of the rotor in the motor.

Key Words: Motor of induction, spectrum, diagnostic, squirrel cage, failures..