

Caso práctico “Desbalance Resistivo en conexiones eléctricas de un motor eléctrico”.

El motor eléctrico es la máquina eléctrica rotativa con mayor presencia en la industria y en conjunto con una bomba u otra máquina, mueven una carga que da origen a un producto final.

No es extraño que un motor eléctrico sea parte de un sistema crítico, por tanto dotar al sistema de disponibilidad a través de una alta confiabilidad, debe ser una función que el motor eléctrico también debe cumplir.

Es habitual medir la resistencia de aislamiento de un motor eléctrico y si su valor esta de acuerdo al estándar, se pone en servicio. Sin embargo, al poco tiempo de funcionamiento empieza a presentar problemas hasta fallar afectando la disponibilidad del sistema generando costos de ineficiencia.

El caso que se presenta a continuación pudo haber sido uno de esos, si no es porque aplicaron pruebas adicionales que permitieron evidenciar el problema.

Análisis estático de motores eléctricos

El análisis estático de motores eléctricos consiste en efectuar una serie de mediciones eléctricas al motor cuando está detenido. Entre estas mediciones se encuentran:

- Resistencia de aislamiento a tierra.
- Capacitancia a tierra.
- Índice de polarización (IP).
- Índice de absorción (DAR).
- Resistencia eléctrica entre bobinas.
- Inductancia entre bobinas.

Estas mediciones permiten efectuar un análisis más completo de un motor eléctrico, lo cual ayuda al analista a mejorar sustancialmente el diagnóstico del motor y así, poder evitar fallas inesperadas.

Las seis Zonas de Falla

PDMA Corporations, desarrolló el concepto de las 6 zonas de falla de un motor, las que se muestran en la siguiente imagen.



Las seis zonas eléctricas de falla:

- ✓ Calidad de la alimentación
- ✓ Circuito de potencia
- ✓ Aislamiento
- ✓ Estator
- ✓ Rotor
- ✓ Entrehierro

La Zona de falla afectada

La zona de falla en donde se detectó el problema corresponde al circuito de potencia y el cual se define como:

El circuito de potencia: se refiere a todos los conductores y conexiones que existen desde el punto donde se realice la prueba hasta los bornes terminales del motor. Esto puede incluir interruptores, fusibles, contactores, protecciones contra sobrecarga, seccionadores y bornas.

El problema detectado

Durante el mantenimiento mayor de una planta de proceso, correspondía realizar el mantenimiento preventivo de un motor eléctrico de 380 (V), 50 HP y 2965 RPM que forma parte del conjunto bomba de carga a una planta de proceso.

Una vez entregado el motor por la empresa mantenedora y antes de realizar el montaje en planta, se realizó con el instrumento MCE Max de PDMA el test denominado AC Auto, el cual realiza de forma automática la medición de resistencia e inductancia de bobinas, curva tiempo resistencia, IP, DAR, resistencia de aislamiento a tierra y capacitancia a tierra.

La medición se realizó en los cables terminales de la caja de conexiones del motor, la imagen 1 muestra el punto de conexión.



Imagen 1, cables terminales de conexión.

Al efectuar el análisis de la medición se detectó un aumento de resistencia en la fase 3 provocando un desbalance resistivo anormal de un 18.31%. La **IEEE Std 1415™ 2006** en el punto 4.3.40 establece que el desbalance resistivo debe estar entre un 3% y un 5% de la resistencia promedio, cualquier valor sobre debe ser investigado. Sin embargo, la **IEEE Std 1068™ 2015** indica que el desbalance resistivos no podrá ser superior a un 1% después que un motor ha sido sometido a mantención. **PDMA Corporations**, recomienda que el desbalance resistivo para motores nuevos o rebobinados debe ser inferior a un 1% y para motores en servicio debe ser menor a un 3%. La imagen N° 2 muestra el reporte de medición.

AC Standard	Polarization Index	RIC	Step Ve
A			
Test Date	11/5/2015		
Test Time	8:01:16 AM		
Test Location	Motor Leads		
User	Administrator		
Tester Serial			
MTAP ID			
Baseline			
Frequency	1200		
Charge Time	600		
Voltage	500		
Motor Temp	15		
Measured Mohm	50780.00		
Corrected Mohm	9000.00		
pF Ph 1 to Ground	12750		
ohm Ph 1 to 2	0.1280		
ohm Ph 2 to 3	0.1300		
ohm Ph 3 to 1	0.1680		
mH Ph 1 to 2	2.610		
mH Ph 2 to 3	2.600		
mH Ph 3 to 1	2.580		
Average Inductance	2.595		
% Res. Imbalance	18.31		
% Ind. Imbalance	0.64		

Imagen 2, reporte de medición 1.

Al revisar los cables de conexión, se evidenció que entre los cables de las bobinas del motor y los cables de conexión a la fuente de alimentación existía un manguito de conexión, ver imagen N° 1.

Con el objeto de descartar que el problema no estuviese en la conexión que ejerce el manguito entre ambos cables, se midió nuevamente la resistencia de las bobinas conectando el instrumento sobre el manguito de conexión de las tres fases, ver imagen N° 3.

El reporte de la medición 2, indica que la resistencia de la fase 3 y el desbalance resistivo todavía siguen elevados, ver imagen N° 4.



Imagen 3, Medición 2.

AC Standard	Polarization Indeltage
B	
Test Date	11/5/2015
Test Time	9:10:31 AM
Test Location	Motor Leads
User	Administrator
Tester Serial	
MTAP ID	
Frequency	1200
Charge Time	600
Voltage	500
Motor Temp	15
Measured Mohm	62680.00
Corrected Mohm	11100.00
pF Ph 1 to Ground	12750
ohm Ph 1 to 2	0.1250
ohm Ph 2 to 3	0.1280
ohm Ph 3 to 1	0.1580
mH Ph 1 to 2	2.615
mH Ph 2 to 3	2.605
mH Ph 3 to 1	2.585
Average Inductance	2.600
% Res. Imbalance	15.33
% Ind. Imbalance	0.64

Imagen 4, reporte de medición 2.

Con la idea de detectar cual era el problema que provocaba la alta resistencia en la fase 3, se procedió a retirar el manguito de conexión. En el retiro se evidenció que existía una conexión deficiente entre el maguito y el cable de la bobina 3, provocado por el no retiro del barniz aislante del conductor de la bobina, ver imagen N° 5.



Imagen 5, cable bobina de motor.

En la imagen 5, se aprecia que la conexión entre la bobina del motor y el cable de conexión a la fuente de alimentación, se realizaba solo por el contacto entre las puntas sin aislamiento de ambos conductores.

Se retira el barniz aislante de los cables de conexión de la fase 3 del motor, se unen y se efectúa una nueva medición, ver imagen N° 6.



Imagen 6, medición 3.

Esta vez, la resistencia de la fase 3 disminuye y también el desbalance resistivo a un 9.86%, pero todavía está por sobre el máximo aceptable, ver imagen N° 7.

AC Standard	Polarization Index	D
Test Date		11/7/2015
Test Time		1:26:33 PM
Test Location		Motor Leads
User		Administrator
Tester Serial		
MTAP ID		
Frequency		1200
Charge Time		60
Voltage		500
Motor Temp		21
Measured Mohm		37140.00
Corrected Mohm		10000.00
pF Ph 1 to Ground		13000
ohm Ph 1 to 2		0.1250
ohm Ph 2 to 3		0.1410
ohm Ph 3 to 1		0.1500
mH Ph 1 to 2		2.630
mH Ph 2 to 3		2.620
mH Ph 3 to 1		2.605
Average Inductance		2.620
% Res. Imbalance		9.86
% Ind. Imbalance		0.91

Imagen 7, reporte de medición 3.

Para asegurara que el alto desbalance resistivo tenía como causa una deficiencia en la conexión de la fase 3, se efectúa una cuarta medición, pero esta vez, se mejora la conexión instalando una prensa partida, ver imagen N° 8.



Imagen 8, instalación de prensa partida.

Esta vez, la resistencia y el desbalance resistivo de la fase 3 disminuyen. El desbalance resistivo lo hizo de un 9.85% a un 3.07%, valor que esta cercano al máximo recomendado, ver imagen N° 9.

AC Standard	Polarization Index	E
Test Date		11/7/2015
Test Time		1:46:25 PM
Test Location		Motor Leads
User		Administrator
Tester Serial		
MTAP ID		
Frequency		1200
Charge Time		60
Voltage		500
Motor Temp		21
Measured Mohm		35260.00
Corrected Mohm		9400.00
pF Ph 1 to Ground		13000
ohm Ph 1 to 2		0.1170
ohm Ph 2 to 3		0.1180
ohm Ph 3 to 1		0.1230
mH Ph 1 to 2		2.630
mH Ph 2 to 3		2.620
mH Ph 3 to 1		2.605
Average Inductance		2.620
% Res. Imbalance		3.07
% Ind. Imbalance		0.91

Imagen 9, reporte de medición 4.

Con la ultima medición se comprueba que el problema de desbalance resistivo tenía como causa una deficiencia en la conexión eléctrica de la fase 3 del motor.

Finalmente, se decidió instalar una bornera de conexiones en el motor, para efectuar una conexión optima de los cables de fuerza con las bobinas del motor, la imagen N° 10 muestra la bornera de conexiones instalada.

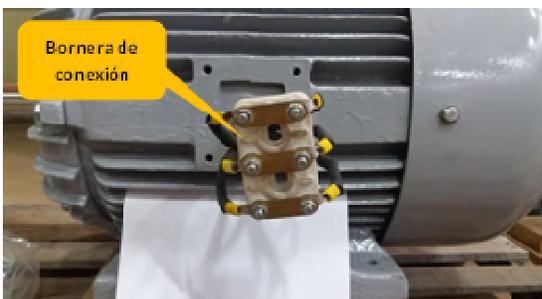


Imagen 10, motor reparado.

Instalada la bornera de conexiones, se efectúa la quinta medición y se comprueba que la resistencia de la fase 3 disminuye a valores muy similares de las otras dos fases, a su vez, el desbalance resistivo disminuye de 3.07% a un 0.89%, valor que está muy por debajo del 1% recomendado, ver imagen N° 11.

AC Standard		Polarization Index
		F
Test Date	11/14/2015	
Test Time	7:53:39 AM	
Test Location	Motor Leads	
User	Administrator	
Tester Serial		
MTAP ID		
Frequency	1200	
Charge Time	600	
Voltage	500	
Motor Temp	15	
Measured Mohm	247.30	
Corrected Mohm	43.70	
pF Ph 1 to Ground	12750	
ohm Ph 1 to 2	0.1110	
ohm Ph 2 to 3	0.1130	
ohm Ph 3 to 1	0.1120	
mH Ph 1 to 2	2.540	
mH Ph 2 to 3	2.540	
mH Ph 3 to 1	2.535	
Average Inductance	2.540	
% Res. Imbalance	0.89	
% Ind. Imbalance	0.13	

Imagen 11, reporte de medición 5.

Conclusiones

- En función a los resultados del análisis y a la evidencia presentada, se concluye que el elevado desbalance resistivo que presentaba el motor, fue provocado por una deficiencia en la conexión eléctrica entre las bobinas del motor y los cables de conexión a la línea de fuerza.
- Aplicar una tensión a un motor con desbalance resistivo, dará origen a corrientes de secuencia negativa. Estas corrientes causan calentamiento en los bobinados del motor, es así

como, un desbalance de tensión de un 3.5% provocará un aumento de la temperatura en el motor de un 25%. También, la conexión con mayor resistencia dará origen a una anomalía térmica provocando una elevación de T° de la conexión, la que afecta al material aislante pudiendo provocarse un cortocircuito a tierra en la caja de conexiones del motor.

Recomendaciones

- La simple medición de la resistencia de aislamiento en un motor, no es suficiente para indicar la condición del mismo, sino, que es necesaria la medición de una serie de variables que en conjunto permiten hacer un diagnóstico con mayor confiabilidad del motor. Hoy en día la tecnología permite que con un solo click se puedan medir todas las variables de una sola vez, además de su registro para un análisis de tendencia.

- Considere siempre que debe proveer al analista de la instrumentación y capacitación adecuada, y la oportunidad de medición. Cada medición que se realice mejora la curva de aprendizaje del analista hasta convertirse en un experto.

Estándares aplicables

- IEEE Std 1415™-2006, IEEE Guide for Induction Machinery Maintenance Testing and Failure Analysis.
- IEEE Std 1068™-2015, IEEE Standard for the Repair and Rewinding of AC Electric Motors in the Petroleum, Chemical, and Process Industries.

Jaime Zamora C.
 Ingeniero Eléctrico
 Diplomado en Gestión de Activos y Mantenimiento
 Ingeniero de Mantenimiento
 Enap Refinerías Aconcagua
 jzamora@enap.cl
 Chile