

# motor tico

BOLETÍN MENSUAL PREPARADO POR [WWW.MOTORTICO.COM](http://WWW.MOTORTICO.COM), COSTA RICA

MAYO 2016

## Fallas en Motores Eléctricos de Media Tensión

Los bobinados de motores eléctricos de media tensión pueden ser construidos con alambre redondo, cuando la tensión nominal sea de 3 kV o menor. Sin embargo, en tensiones por encima de este valor, se recomienda el uso de **bobinas preformadas** con conductores en barra de cobre, por aspectos de confiabilidad y requerimientos dieléctricos. Esta sería una de las principales diferencias entre los motores de baja tensión (BT) y media tensión (MT). En este boletín se analizan los modos de falla eléctricos en motores de MT de rotor jaula de ardilla, como un primer paso para evitarlos.



### Método Causa-Raíz

Siempre que se analizan fallas, es importante seguir alguna metodología para el análisis, en este caso se recomienda la *Metodología Causa-Raíz*<sup>(1)</sup>. Este método es un proceso paso a paso para el examen del motor fallado. Se centra en las fuerzas (estrés) que actúan sobre el(los) componente(s) fallado(s). Al comprender estas fuerzas, es más probable que se logre descubrir la **causa-raíz** de la falla. Los pasos son (sígalos al pie de la letra):

1. **Modo de fallo**
  - Es la manifestación, la forma o la disposición de la falla (Ej.: corto circuito vuelta-vuelta, corto fase a fase, etc.)
2. **Patrón de fracaso**
  - Es cómo se configura la falla (Ej.: simétrica o asimétrica).
3. **Apariencia**
  - Examen de la(s) pieza(s) dañada(s), el motor y el sistema en que opera. Se debe tener el cuidado de inspeccionar todas las partes, buscando la presencia de: suciedad, humedad, grietas, u otros signos de estrés aumentado.
4. **Aplicación**
  - Un análisis detallado del trabajo realizado por el motor y las características del tipo de carga.
5. **Información Antes-Durante-Después de la falla**
  - Recopilación de la mayor cantidad de información alrededor de la falla, que deberá ser examinada para considerar el aporte al evento de falla.
6. **Historial de mantenimiento**
  - Una revisión al trabajo realizado de mantenimiento sobre el motor y el sistema históricamente.

En un mundo ideal, toda la información relativa a la aplicación y el historial del mantenimiento estaría disponible antes de la falla. En la vida real, sin embargo, la metodología por lo general consiste en la inspección de la pieza defectuosa y el motor y, a continuación, se busca la información acerca de la aplicación, y el historial de mantenimiento no siempre está disponible. Esta secuencia es por lo general conducido por la urgencia en devolver el motor al servicio. Esto puede dificultar el análisis causa-raíz. Sin embargo, en algunos tipos de fallas la causa es muy clara y no presenta mayor dificultad, como por ejemplo: *i)* Una masa de balanceo dinámico que se desprendió y golpeó el bobinado; *ii)* Un bobinado saturado con agua; o *iii)* El lubricante del cojinete está contaminado. Las fuerzas que provocan estrés sobre el motor son las siguientes, según la parte del motor:

- *Estrés en los rodamientos:* De tipo térmico, cargas dinámicas y estáticas, vibración y golpes, por el ambiente, o eléctrico.
- *Estrés en el estator:* De tipo térmico, eléctrico, mecánico o por el ambiente (Este boletín trata de este tipo de fallas).
- *Estrés en el rotor:* De tipo térmico, dinámico, mecánico, por el ambiente, magnético, residual y otros.
- *Estrés en el eje:* De tipo dinámico, mecánico, por el ambiente, térmico, residual y electromagnético.

Muchas veces las fuerzas se combinan entre sí, provocando mayor estrés sobre el motor de MT.

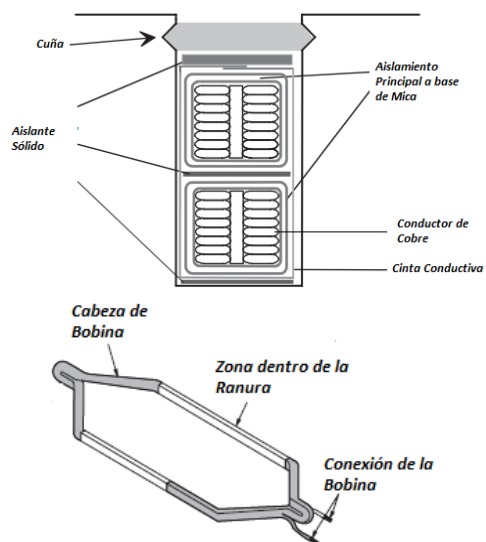
<sup>1</sup> Otra técnica de análisis de falla es: *Análisis del Efecto de Modo de Falla* (o *Failure Mode Effect Analysis* en inglés)

Para el análisis causa-raíz en fallas electricas es importante tener claro la construcción de los bobinados, la cual se detalla a continuación.

Construcción de Bobinados Preformados en Motores de MT

La construcción de bobinados preformados presenta mayor complejidad que el tipo de bobinado aleatorio con alambre redondo. La Fig. 1 muestra un detalle de una bobina preformado y su sección transversal, mostrando los conductores de barra rectangular.

Figura 1 Bobinado preformado



Se puede analizar la construcción de bobinados preformados, según el nivel de tensión, en: motores de 2 a 5kV, y mayores a 6kV. Hay ciertos pasos y recomendaciones para cada tipo.

Por lo general, a partir de 6 kV, se coloca una **cinta de protección conductora** entre el aislante y el núcleo de estator en la ranura. La función de esta capa es evitar la formación de descargas en los vacíos que quedan en la ranura. También es común el uso de **cintas de gradiente semiconductor**, para el control de estrés en zonas de alto campo eléctrico, cuando la bobina sale de la ranura.

El material aislante base más común en MT es la cinta de **mica**, utilizado para cubrir los conductores de cobre. Por su excelente resistencia a las descargas parciales y otras propiedades. Además, en máquinas a más de 6kV es común el uso de **conductores transpuestos**, lo que permite equilibrar las fuerzas sobre los distintos conductores tipo barra.

En máquinas de MT la presencia de huecos (**vacíos**) en el bobinado luego de la fabricación e impregnación debe ser evitada al mínimo (por el peligro de actividad de descargas parciales). Por lo tanto, la selección del proceso de impregnación (barnizado) es clave, lo que depende de la tensión y exigencia del motor. Los métodos más utilizados son: Impregnación Vacío y Presión (**VPI** por sus siglas en inglés) y el Rico en Resina o Resin Rich (**RR**).

En el método de VPI, el objeto (estator completo) a ser impregnado se coloca en una cámara de vacío, que es cerrada. Luego se crea un vacío a una presión de típicamente alrededor de 1 milibar. A continuación, la resina que ha sido tratada previamente (viscosidad seleccionada, con un agente de curado añadido, y enfriada) se bombea en la cámara a través de un intercambiador de calor donde se pre-calienta a 70 °C, hasta que el objeto a ser impregnado se cubre totalmente. El precalentamiento de la resina es muy importante, debido a que disminuye significativamente la la viscosidad, y así puede penetrar fácilmente y llenar el bobinado por completo. El vacío se libera y se permite que la cámara se presurice a 3-5 bar por un período de varias horas. Finalmente, la resina se devuelve al recipiente de almacenamiento. El enfriamiento en el recipiente de almacenamiento es importante para extender la vida útil de la resina, sin que se endurezca. El objeto que se impregna a continuación se coloca en el horno, en donde la resina se endurece. El método de VPI es adecuado en bobinados de cobre preformados, y los espesores de recubrimiento se pueden dimensionar con precisión. También es posible hacer un VPI bobina a bobina, conocido como Barra Simple.

En el método de RR casi todos los aislantes seleccionados y otros materiales se pre-impregnan en una máquina especial. El agente de unión es generalmente una resina tipo epoxi, que está en un estado pre-curado, sólida pero maleable, siendo fácil de procesar. Las bobinas están aisladas con varias vueltas de cinta de mica que se envolvieron alrededor de la bobina de punta a punta. Este es el aislamiento principal de la bobina. Finalmente, la resina epoxi del aislamiento se endurece a una alta temperatura y alta presión, que le proporciona la máquina especial.

El método VPI difiere del método RR por el hecho de que en el primero, los aislantes utilizados son porosos para que se impregnen de resina, y no contienen una cantidad considerable de agentes de unión. En el método RR es posible usar tiras aislantes de relleno, para asegurar la ranura de manera uniforme. A veces las tiras de relleno son tipo flexibles para evitar el aflojamiento de las bobinas. La Fig. 2 presenta una comparación de los tipos de impregnación.

Finalmente, el aislamiento en los extremos de las bobinas (cabezas de bobina) se construye de la misma manera que en las ranuras, solamente sin tiras de relleno. La cinta conductora no se utiliza, a diferencia de en la sección de ranura.

	Resin Rich	VPI a Barra Simple	VPI Global
Ventajas	Todas las bobinas pueden ser probadas antes de bobinar	Bobinas Impregnadas y curadas pueden ser probadas antes de bobinar, ideal para bobinas de 1 vuelta	Sellado hermético de todo el bobinado, incluido el laminado
	Las bobinas podrían ser removidas para reparación parcial	Las bobinas pueden ser removidas parcialmente	Bajo costo a gran escala
Desventajas	Alto costo comparado con VPI Global	Alto costo comparado con VPI Global	Bobinas se pueden probar solo parcialmente antes del VPI Global
	Proceso más lento que VPI Global	Proceso mas lento que VPI Global	No es posible remover las bobinas una vez impregnado y curado

Figura 2 Tipos de impregnación en motores de MT

Modos de Falla

Distintos estudios de fallas se han hecho, y han encontrado los mecanismos posibles de falla en motores de MT. Son los siguientes:

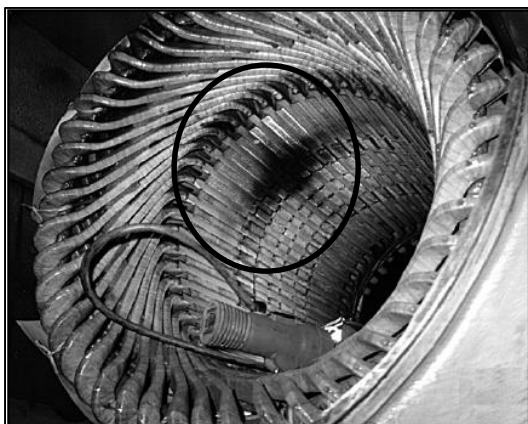
- **Deterioro térmico aumentado:** se puede presentar por diversos motivos. Es la pérdida de propiedades dieléctricas por la operación del motor a alta temperatura.

- **Excesivos ciclos térmicos:** motores expuestos a constantes arranques-paros, o cambios constantes de carga, pueden experimentar altas temperaturas y esfuerzos electrodinámicos.
- **Inadecuada impregnación y curado:** por esta causa las fallas se pueden manifestar en el corto plazo.
- **Bobina suelta dentro de la ranura:** debido a malos procesos de fabricación o reparación.
- **Falla en la cinta semiconductor:** este falla implica la presencia de descargas parciales. Los motores que operan a mayores altitudes, donde la presión de aire es menor y, en consecuencia, la rigidez dieléctrica del aire es más baja, son más propensos a experimentar este problema.
- **Transitorios de tensión (peaks de tensión):** en caso de presentarse transitorios de tensión en los bornes del motor se producirá estrés eléctrico fuera de lo normal, lo que deteriora el aislante.
- **Contaminación del sistema de aislamiento:** la contaminación del sistema de aislamiento trae múltiples problemas.
- **Partículas abrasivas:** un chorro de partículas abrasivas sobre el bobinado puede desgastar el aislamiento peligrosamente.
- **Ataque de sustancias químicas:** productos químicos como ácidos, pinturas, disolventes, aceites y otros pueden provocar la falla del aislante. Además, el problema se puede presentar por malos procesos de limpieza o reparación.
- **Inadecuado espaciamiento en cabezas de bobina:** en estatores de MT se dejan espacio entre las bobinas adyacentes para asegurar que suficiente aire de enfriamiento fluya, para ayudar a limitar la temperatura.
- **Vibración en cabezas de bobina:** la corriente alterna que fluye por las bobinas produce vibración. Si no se provee adecuada fijación de las cabezas de bobina, la vibración puede provocar abrasión aumentada.
- **Fugas de refrigerante en motores enfriados por líquidos:** este mecanismo se produce en motores con este tipo de enfriamiento, típicamente máquinas grandes.

### Análisis de Casos

Las siguientes fotografías muestran algunos modos de falla en motores de MT para ilustrar el análisis.

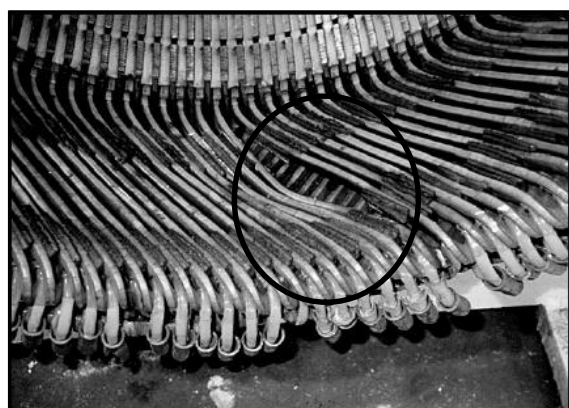
Corto Circuito a Tierra en la Ranura



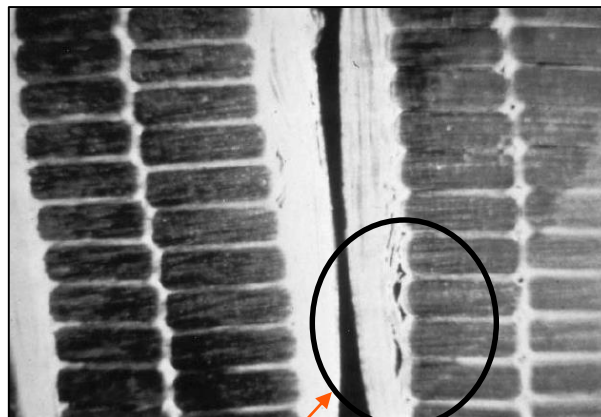
Exceso de Contaminación



Falla en la Sujeción del Bobinado



Mal Proceso de Construcción dejó Vacíos en el Bobinado



La presencia de vacíos permite la actividad de Descargas Parciales en el motor de MT