

motor tico

BOLETÍN BI-MENSUAL PREPARADO POR WWW.MOTORTICO.COM, COSTA RICA

ENERO-FEBRERO 2017

Fabricación de devanados de 13.8 kV en máquinas eléctricas rotativas

Por: Julio Sepúlveda N., Ferroman S.A. (Chile) y Oscar Núñez M., Motortico.Com (Costa Rica)

Las máquinas eléctricas incluyen un sistema de aislamiento sólido, incrustado en el núcleo laminado y mantenido en su posición por mecanismos de apoyo. En términos generales, el aislamiento puede ser dividido en dos: *i)* el que provee aislamiento con las paredes del núcleo; y *ii)* entre los conductores. Su selección y dimensionamiento dependerá de los niveles de sollicitación a que será sometido. En este sentido, el término sollicitación se emplea en ingeniería para designar algún tipo de acción externa que afecta a una parte o varias del sistema, y necesita ser tomada en cuenta en el diseño y ensayos. Se distinguen tres tipos de sollicitaciones para el aislamiento en máquinas rotativas, que son: mecánica, térmica y eléctrica. En este artículo se reporta el caso de la reconstrucción del devanado de un motor de 13.8 kV basado en un proceso de impregnación tipo VPI Global.

Sollicitación eléctrica

Cuando la máquina está en operación, el sistema de aislamiento debe sustentar un cierto nivel de sollicitación eléctrica, la cual se puede separar en dos aspectos principales, que son: *i)* la sollicitación de **Campo Eléctrico**, relacionada con el efecto sobre el volumen microscópico de los materiales aislantes, y se toma en cuenta en el diseño de la máquina; y *ii)* de **Tensión**, relacionada con la tensión aplicada al aislamiento, y que se toma en cuenta para la instalación y los ensayos a realizar. Ambas se combinan entre sí, esto es: para que un aislamiento sustente con éxito la sollicitación de tensión, es necesario que los micro volúmenes que componen el sistema aporten adecuadamente en el trabajo dieléctrico (aislar).

Construcción de devanados de 13.8 kV

En máquinas que operan sobre los 1000 V, el tipo de construcción de las bobinas del devanado suelen ser de tipo preformadas, con alambre rectangular (pletina). A las bobinas se le da la forma previa a su instalación en la ranura, y son conectadas en serie para crear el efecto magnético. Para el correcto diseño del sistema de aislamiento se deberá considerar la distribución de esfuerzos eléctricos, térmicos y mecánicos. A nivel eléctrico, su diseño es tal que se busca asegurar que en vueltas adyacentes de una bobina se presente la tensión más baja posible. Para esto se colocan distintos estratos de materiales aislantes. Estos materiales se encargan de mantener separación entre vueltas para evitar cortos eléctricos, además de evacuar el calor generado por la circulación de corriente, y soportar la vibración producida por las fuerzas presentes.

En máquinas por encima de 3 kV, el fenómeno de Descargas Parciales se puede presentar, provocando considerable aumento del envejecimiento, por lo tanto, se deberán extremar las medidas que minimicen la presencia de vacuolas en el devanado. Además, cuando se superan los 6 kV (como máquinas de 13.8 kV), se deben extremar las medidas de protección colocando una cinta de protección corona. Junto a esto se emplean materiales semiconductores (cinta semiconductor), conductores (cinta conductiva), y cinta de soporte mecánico en la zona de ranura, para mejorar su desempeño dieléctrico, mecánico y

térmico. La Fig. 1 muestra las diferentes capas de materiales aislantes utilizados típicamente en la fabricación de devanados entre 6 kV – 15 kV, bajo el sistema impregnación **VPI Global** (por las siglas en inglés de *Vacío-Impregnación-Presión*), empezando con la pletina de cobre.

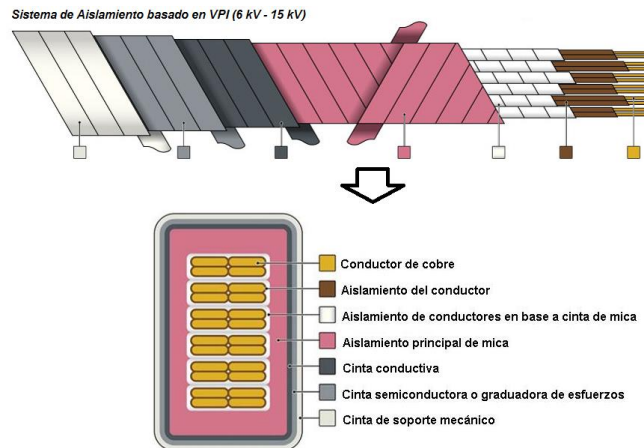


Figura 1 Detalle de las capas aislantes utilizadas en las bobinas. Arriba: vista lateral. Abajo: vista en corte (fuente: IPS)

El proceso de consolidación de las bobinas del devanado es la etapa final de la fabricación/repárico de la máquina eléctrica, y es clave desde distintos puntos de vista (térmico-eléctrico-mecánico). Esto tiene que ver con el proceso de impregnación y curado al horno de la resina. Hoy día existen varios métodos de impregnación, siendo uno de los más utilizados el **VPI Global**, desarrollado por Westinghouse, para mejorar el ingreso de la resina en los lugares más internos del estator. El proceso consiste en colocar el devanado pre-secado en una cámara de impregnación, en la cual se realiza vacío mediante una bomba. Luego de un tiempo realizando vacío, se permite el ingreso del agente de impregnación hasta la inmersión completa del estator, para luego aplicar aire comprimido o nitrógeno a alta presión por un tiempo determinado, con el objeto de hacer más efectiva la penetración de la resina. Finalmente, se extrae el devanado de la cámara de impregnación y se limpia de los residuos. Finalmente, se ingresa al horno para iniciar el proceso de curado a una temperatura y tiempo adecuado. La Fig. 2 presenta las 4 etapas del proceso VPI, incluyendo detalles de cada una.

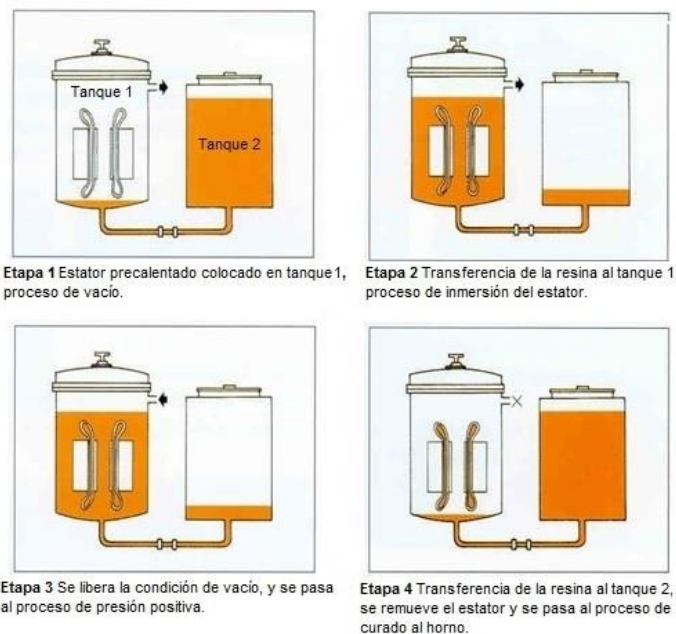


Figura 2 Etapas del proceso de impregnación por VPI Global (fuente: Yang Ming)

En niveles de 13.8 kV, la selección del espesor del aislamiento en la ranura requiere un especial cuidado, por los altos niveles de tensión a tierra, lo que potencialmente puede activar Descargas Parciales dentro de la ranura, o en la superficie de las bobinas. Estas consideraciones fueron tomadas en cuenta en la reconstrucción del motor que se detalla a continuación.

Estudio de caso

Se presenta a continuación el proceso llevado a cabo en Ferroman S. A., quienes han desarrollado la técnica de construcción de devanados de alta tensión para máquinas rotativas, con niveles entre 13.2-13.8 kV, basado en impregnación por VPI Global. Este proceso ha implicado la construcción de maquinaria, obtención de instrumentación, selección de materiales, desarrollo de procedimientos para fabricación y ensayos para el control de calidad. El objetivo planteado fue lograr la fabricación de bobinas pre-formadas, con mejores tiempos de entrega que las obtenidas en empresas extranjeras, alcanzando iguales o superiores desempeños. Lo anterior, cumpliendo los estándares técnicos y normados a nivel internacional.

El motor reparado correspondió a una potencia de 4500 kW, 2 Polos, 13.8 kV, con enfriamiento por intercambiador aire – agua. Dicho motor mueve un compresor de oxígeno. Las Figs. 3, 4 y 5 muestran parte del proceso realizado.



Figura 3 Proceso de rebobinado en motor de 13.8kV

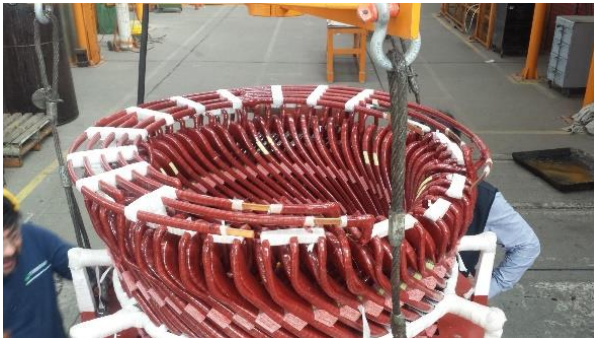


Figura 4 Zona del devanado mostrando el conexionado y cables de salida



Figura 5 Inicio del proceso de impregnación por VPI

Junto con el desarrollo de los procedimientos de fabricación de las bobinas y montaje, es necesario considerar el control de calidad por medio de pruebas dieléctricas, siguiendo alguna normativa reconocida. Por ejemplo, por los niveles de tensión, se deberá revisar la actividad de *Descargas Parciales* y la medición del *Factor de Disipación*, como parte de los ensayos. La Fig. 5 muestra el momento de realización de la prueba de impulso eléctrico por bobina.



Figura 5 Vista del devanado completo durante ensayos dieléctricos

Conclusión

La fabricación local de devanados de 13.8 kV debe ser considerado como un importante paso tecnológico para cualquier país de Latino América, ya que normalmente las bobinas se adquieren en el extranjero (por ejemplo: EE.UU. o Inglaterra) para ser instaladas en centros de servicio locales. Lo que implica tiempos de entrega prolongados, con un soporte técnico desde otro país.