



## **Especificación y Ensayos de Transformadores con Aislación Seca**

Eduardo Velázquez Castillo<sup>1</sup>; Oscar Barboza<sup>1</sup>; Nora Díaz Mora<sup>2</sup>

**Central Hidroeléctrica de Itaipu Binacional; Superintendencia de Materiales<sup>1</sup>**

**UNIOESTE - Foz do Iguaçu; LaMat - Laboratório de Materiais<sup>2</sup>**

**Paraguay<sup>1</sup>; Brasil<sup>2</sup>**

### ***RESUMEN***

Aunque el mercado de transformadores de distribución es ampliamente dominado por los transformadores convencionales, con aislación y refrigeración en aceite, los transformadores con aislación seca, ya sea impregnados o encapsulados en resina aislante, presentan algunas características y prestaciones que configuran una mayor adecuación al uso en algunas aplicaciones específicas, como en el caso de los transformadores destinados a suministrar energía eléctrica a los diversos sistemas auxiliares de la Central Hidroeléctrica de Itaipu.

En este contexto, la demanda por transformadores de tipo seco, aunque aún incipiente, presenta un sensible incremento en el mercado nacional, lo que depara, tanto a fabricantes como a usuarios de estos equipos, nuevos desafíos técnicos con distintos niveles de complejidad, desde la especificación técnica para la adquisición, pasando por las etapas de proyecto y ensayo de aceptación en fábrica, hasta la puesta en servicio de este tipo de transformadores, cuya aislación se encuentra principalmente constituida por barnices o resinas, generalmente del tipo epoxi.

En el afán de mejorar la comprensión y dilucidar algunos aspectos particulares de los transformadores de tipo seco, este trabajo aborda, con base a la experiencia de la División de Inspección de la Central Hidroeléctrica de Itaipu, las principales características a ser consideradas para la especificación técnica, los materiales empleados, los procesos de fabricación, los ensayos de aceptación en fábrica y las normas técnicas específicas que los determinan, así como los problemas usualmente encontrados durante la inspección de transformadores de tipo seco.

### ***PALABRAS CLAVE***

Aislación seca; Resina Epoxi; Impregnado; Encapsulado; Inspección.



**XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018**

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos enfrentan actualmente la necesidad de ampliar el suministro de energía con el crecimiento del consumo provocado por los avances tecnológicos y el desarrollo socioeconómico, al tiempo de enfrentar la disminución de los recursos naturales y la reducción de recursos financieros, resultado de la actual coyuntura política y económica. De esta forma, las empresas del sector analizan y ejecutan soluciones para el uso racional de la energía eléctrica, que viabilicen el mejor aprovechamiento de equipos como transformadores, motores eléctricos, condensadores, etc., así como el empleo de materiales de calidad, adecuados a la capacidad nominal de los equipos. Por otro lado, muchos de estos equipos operan en sistemas eléctricos altamente solicitados, funcionando próximos a sus características nominales, lo que acarrea problemas de operación y en particular afecta la vida útil de los equipos.

La Central Hidroeléctrica de Itaipu (CHI), actualmente con 39 años de operación, se ha adelantado a las nuevas exigencias del sistema con el pleno desarrollo del Plan de Actualización Tecnológica, que prevé la ejecución e implantación en forma modular y sistemática de estrategias avanzadas con miras a asegurar la continuidad de las operaciones con alto grado de confiabilidad, manteniendo la excelencia en la producción y el suministro de energía, y en la medida de las posibilidades, minimizando los costos operacionales.

Esta modernización consiste en el proceso de sustitución de equipos considerados obsoletos o al final de su vida útil por equipos con tecnología de vanguardia, o en la incorporación de nuevos sistemas con nuevas funcionalidades. En este contexto, para atender los principales objetivos estratégicos de la Itaipu Binacional, el alcance de la Actualización Tecnológica comprende la readecuación de los Sistemas de Supervisión, Control y Protección de las Unidades Generadoras, de las Subestaciones y de la Presa Principal y Vertedero, así como de todos los elementos accesorios a estos procesos, tales como los equipos de Servicios Auxiliares eléctricos y mecánicos [1].

Si bien grandes equipos electromecánicos, como: generadores, turbinas, transformadores y compuertas, no están contemplados en esta Actualización Tecnológica, algunos de estos equipos deberán ser contemplados en futuras etapas en función de sus vidas útiles específicas.

Con el avance tecnológico en el sector eléctrico y la cada vez más creciente investigación en lo referente a aplicación de materiales emergentes, con la principal finalidad de elevar la confiabilidad y disponibilidad en el suministro de la energía eléctrica, la utilización de transformadores de potencia de aislación seca (tipo seco), viene ocupando un papel preponderante cuando se aborda la confiabilidad y seguridad, en dependencia directa del local de instalación, función desempeñada e importancia sistémica de los equipos.

Este trabajo, aborda las principales características a ser consideradas para la especificación técnica de los transformadores de potencia tipo seco, los materiales empleados, los procesos de fabricación, los ensayos de aceptación en fábrica y las normas técnicas específicas que los determinan, así como los problemas usualmente encontrados durante la inspección de este tipo de transformadores con base a la experiencia de la División de Inspección - MTSI.DF, dependiente de la Superintendencia de Materiales – MT.D, de la Central Hidroeléctrica de Itaipu.

## 2. TRANSFORMADORES DE TIPO SECO - GENERALIDADES

A pesar de que la mayor parte de la potencia de transformación instalada en la Central Hidroeléctrica de Itaipu (MVA) corresponda al tradicional sistema papel aislante/aceite mineral, en algunas funciones específicas tales



XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

como transformadores de excitación (TEP), transformadores auxiliares de las unidades (TAU), transformadores de servicios auxiliares de la central, transformadores de aislación, etc., vienen siendo utilizados transformadores de potencia tipo seco por las característica y ventajas que los mismos presentan sobre los transformadores tradicionales aislados a aceite. Los mismos son especialmente indicados para la instalación en edificios de gran altura, hospitales, instalaciones subterráneas, escuelas, ambientes industriales, zonas contaminadas o de alta humedad, y en general, en locales donde la seguridad ante eventuales incendios constituye un requisito fundamental.

La norma ABNT NBR 5356-11:2016 - *Transformadores do Tipo Seco – Especificação*, basada en la norma IEC 60076-11:2004, y que sustituye a la norma ABNT NBR 10295:2011, define a los transformadores de tipo seco, como aquellos transformadores cuya parte activa no es sumergida en líquido aislante. Las características eléctricas de los transformadores tipo seco son las mismas que aquellas consideradas para los transformadores aislados en aceite, con la salvedad de que los transformadores de tipo seco se fabrican usualmente para tensiones de hasta 36,2 kV y potencias de hasta 20.000 kVA. Sin embargo, existen fabricantes que ofertan transformadores secos con tensiones de hasta 72,5 kV y potencia de 63.000 kVA [2].

Las principales ventajas de los transformadores de tipo seco, en relación a los transformadores con aislación en aceite son: diseño compacto, mantenimiento mínimo, resistencia a ambientes agresivos, alta resistencia mecánica ante sollicitaciones electrodinámicas y la minimización o eliminación de emisiones de gases tóxicos durante potenciales incendios [3].

Constructivamente, los transformadores de tipo seco pueden clasificarse en transformadores impregnados (tipo abierto) y encapsulados en resina (usualmente epoxi). La referencia [4] también establece clasificaciones en relación a las condiciones de operación medioambientales (E0, E1 y E2, en función a la humedad, condensación y polución ambiental), climáticas (C1 y C2, de acuerdo a la temperatura ambiente de operación) y de comportamiento al fuego de los transformadores (F0 y F1).

Desde el punto de vista del método de refrigeración, los transformadores de tipo seco son clasificados y designados conforme las tablas 1 y 2 de [4]. En este sentido, los métodos de refrigeración aplicables a transformadores de tipo seco son AN (Aire Natural), ANAN (Aire Natural - Aire Natural) y ANAF (Aire Natural - Aire Forzado).

### 3. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El núcleo es usualmente del tipo envuelto y está construido con chapas de acero-silicio de granos orientados, laminadas en frío, de bajas pérdidas y aisladas con material inorgánico. Las culatas superior e inferior del núcleo son prensadas por medio de perfiles de acero al carbono y cintas de material aislante (fibra de vidrio).

Las bobinas de baja tensión pueden ser construidas utilizando hilos o láminas de cobre o aluminio. Usualmente estas bobinas son impregnadas. Por su parte, los devanados de alta tensión son en general, del tipo disco, construidas con láminas de cobre o aluminio y encapsuladas al vacío. El empleo del aluminio es preferido con frecuencia debido a que los coeficientes de dilatación del aluminio y de la resina son tan similares que las tensiones mecánicas que ocurren con la elevación de temperatura son mínimas, reduciendo el riesgo de fisuras. Las bobinas de alta y baja tensión se colocan de manera concéntrica en las columnas del núcleo, con el devanado de baja más próximo a las láminas de acero-silicio.

En la CHI existen varios transformadores de tipo seco, denominados de “aislamiento”, ya que proporcionan una aislación galvánica entre el primario (460 Vca, tensión de servicios auxiliares de la central) y el secundario

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

(380 Vca ó 220 Vca). En virtud a la baja tensión de los primarios y secundarios de estos transformadores, usualmente ambos devanados son del tipo impregnado.

#### 4. CARACTERÍSTICAS Y PARTICULARIDADES DE RESINAS EPÓXI

En general, la resina epoxi, después de sufrir el proceso de curado, presenta excelente resistencia química (resistencia a la humedad, solventes y otros contaminantes), alta resistencia mecánica, estabilidad y propiedades eléctricas aislantes diferenciadas. Dependiendo del proceso de curado, de la proporción resina/endurecedor (bicomponente), tiempo y temperatura de preparación, es posible obtener diversos sistemas epoxi, con diferentes características térmicas, mecánicas y físicas.

Es por causa de esas características que la resina epoxi es utilizada como sistema de encapsulamiento y aislación en transformadores tipo seco, para impregnación de bobinas de motores y generadores, así como en el encapsulado de componentes eléctricos, como los aisladores pasantes.

Resinas epoxi o resinas epoxídicas, son polímeros sintéticos comercializados en la forma de fluido viscoso, que a través del proceso de curado se solidifica. Son clasificados como polímeros termo-estables o termo-fijos. Este material sólido, una vez producido, no retorna a la condición fluido viscosa.

La resina epoxi más utilizada industrialmente es la que se obtiene por polimerización en medio básico de epiclorhidrina y bisfenol A [5, 6, 7]. La composición química de esta resina es ilustrada en la Figura 1. En la estructura del pre-polímero, n indica el número de subunidades polimerizadas y se encuentra en el rango de 0 hasta casi 25 [8]. Los pre-polímeros se convierten en resinas duras mediante el curado. En esta etapa se aplica calor y presión a una mezcla del pre-polímero comúnmente con un catalizador o “endurecedor”. Endurecedores son reactivos bi o tri-funcionales, que al reaccionar con los grupos epoxi terminales y con los grupos OH interiores forman puentes entre las cadenas moleculares, dando lugar a redes macromoleculares tridimensionales muy resistentes entrelazándose con fuertes covalentes. Entre los endurecedores más utilizados en la formulación de resinas epoxídicas se destaca la dietilentriamina (DETA) y las sustancias con hidrógenos activos, como aminas primarias y secundarias, fenoles, ácidos carboxílicos, poliamidas y anhídridos [9].

La reacción de curado es irreversible, dando origen a polímeros termo-estables o termo-fijos, que no se funden y son insolubles. De esta manera, no pueden ser reciclados, ya que si se incrementa la temperatura el polímero no funde, las cadenas se compactan más, tornando el polímero más resistente hasta el punto en que se degrada.

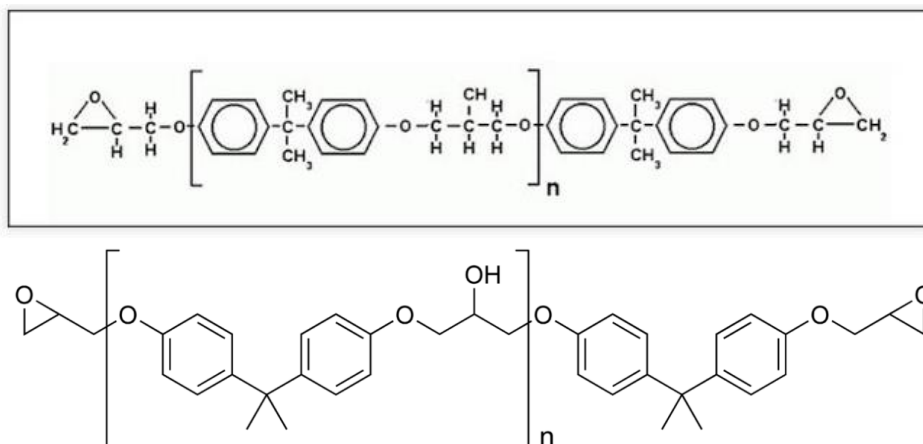


Figura 1. Pre-polímero epoxi formado por bisfenol A y epiclorhidrina.



XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

---

## 5. PROCESOS DE FABRICACIÓN

### 5.1 Impregnación

De todos los procesos de impregnación de máquinas eléctricas (inmersión, goteo, VPI), el más utilizado en la actualidad es el Proceso de Impregnación a Vacío y Presión (VPI, *Vacuum Pressure Impregnation*), debido a la mejor calidad de las bobinas resultantes, la mayor uniformidad de la impregnación, la minimización de poros y oquedades, con la consecuente reducción de los niveles de descargas parciales que presentan las bobinas. El proceso VPI consta de las siguientes etapas:

Precautado: consiste en insertar las bobinas en un horno precautado, para eliminar la humedad de las mismas, eliminar los aceites volátiles y facilitar la penetración de la resina.

Vacío seco: una vez terminado el proceso de precautado, las bobinas son enfriadas hasta determinada temperatura, procediéndose luego a depositarlas en la cámara de vacío, en donde se aplica vacío por cierto tiempo. En esta fase, el aire y cualquier residuo de aceite, humedad, etc., es removido.

Vacío: inmediatamente después de mezclar y crear así la resina, esta es introducida en la cámara de vacío, sumergiendo completamente las bobinas a ser impregnadas. El vacío con la bobina sumergida en el agente impregnante se mantiene por un tiempo determinado.

Ciclo de presión: la cámara es presurizada por cierto tiempo.

Extracción y secado: se disminuye lentamente la presión de la cámara y se extraen las bobinas a baja velocidad, de manera que la impregnación sea uniforme.

Curado: se depositan las partes tratadas anteriormente en un horno previamente calentado. Se curan las bobinas atendiendo las recomendaciones de cada producto particular.

### 5.2 Encapsulado

Una vez montadas completamente las bobinas, las mismas son colocadas en unos moldes para el encapsulado. Este conjunto es colocado en vacío, a alta temperatura, en un autoclave, pasando por un proceso de secado para eliminar la humedad de las bobinas.

Los componentes de la resina son mezclados y desgasificados en equipos con tecnología adecuada, posteriormente, la mezcla es inyectada en los moldes (manteniendo el vacío y la alta temperatura en el autoclave) para un pre-curado.

Luego de pre-curadas, las bobinas son trasladadas a una estufa donde el curado es concluido mediante una secuencia de temperaturas controlada. Posteriormente, las bobinas son retiradas de los moldes, ensayadas y liberadas a la línea de montaje.



XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

---

6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Debe especificarse si el transformador operará bajo condiciones normales (altitud, temperatura ambiente, humedad, forma de onda y simetría de la tensión de alimentación normalizadas) o especiales de servicio, que incluyen restricciones de ventilación, gases nocivos, condiciones extremas de vibración, etc.

Deben ser indicadas las características constructivas de los transformadores, si las bobinas son impregnadas o encapsuladas, nivel de ruido admisible, los materiales de la aislación, del núcleo y de las bobinas (cobre o aluminio), la necesidad de blindaje electrostático entre las bobinas de alta y baja tensión, las dimensiones y peso máximo, el tipo de terminales, la puesta a tierra, las características de la pintura de la carcasa (tipo, color, espesor y adherencia), ojales de suspensión y ruedas. La documentación requerida también debe ser especificada (manuales de operación y mantenimiento, diseños, etc.).

El proyecto y construcción de los transformadores de tipo seco debe atender las normas de referencia consideradas en la especificación técnica de los equipos. El fabricante debe garantizar las características que constan en la placa, asegurando que el transformador pueda suministrar la corriente nominal bajo características de carga constante, sin exceder los límites de elevación de temperatura, admitiéndose la tensión y frecuencia aplicadas iguales a las nominales [4].

De esta manera, las características nominales principales a especificar son: potencia nominal (para cada tipo de refrigeración), clase de temperatura de los devanados (usualmente F o H, de acuerdo con la clasificación de la norma NBR/IEC 60085), número de fases, frecuencia nominal, tensión nominal (de cada devanado, incluyendo las tensiones de las derivaciones), polaridad o tipo de conexionado, impedancia de cortocircuito (a corriente nominal y temperatura de referencia), nivel de eficiencia (A, B, C o D, anexo F de norma ABNT NBR 5356-11:2016), corriente de excitación, tipo de refrigeración, niveles de aislación y grado de protección (grado IP).

Las derivaciones (sin carga) deben ser dos veces  $\pm 2,5$  % de la tensión nominal, siendo permitidas derivaciones adicionales. Se recomienda un máximo de cinco derivaciones. La derivación principal debe corresponder a la tensión más elevada o aquella declarada por el comprador. Los dispositivos de protección y sensores requeridos, así como cualquier accesorio adicional también deben ser indicados.

Además, es importante considerar las clases climática, ambiental y de comportamiento al fuego establecidas en la norma ABNT NBR 5356-11:2016.

Por último, es necesario especificar los ensayos de aceptación que serán realizados, principalmente cuando son requeridos ensayos de tipo y/o especiales. Este aspecto es abordado en el siguiente ítem.

7. ENSAYOS APLICABLES PARA ACEPTACIÓN EN FÁBRICA

En gran medida, la elevada disponibilidad de las unidades generadoras de Itaipu, obedece a la política de calidad adoptada, en relación a sus principales componentes, equipos y sistemas. Itaipu realiza, mediante la MTSI.DF, la inspección en fábrica de los equipos electromecánicos adquiridos para la CHI, de manera a asegurarse que tales equipos cumplan con la función esperada, con vida útil prolongada, ya que se verifica que los equipos son adquiridos de acuerdo a los requisitos especificados. La inspección en fábrica también contribuye a la satisfacción de la demanda de equipos electromecánicos, principalmente de las áreas de operación y mantenimiento de la central, pues los equipos fabricados en conformidad con las especificaciones técnicas son apropiadamente liberados en fábrica, evitando retrasos, defectos o fallas que podrían ocurrir luego



**XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**06 y 07 de Setiembre de 2018**

de que el equipo haya sido recibido en Itaipu, eliminando los altos costos logísticos implicados en tales circunstancias [10].

Itaipu realiza la inspección en fábrica de los transformadores de tipo seco, acompañando los ensayos establecidos por norma y aquellos determinados en la especificación técnica. La ABNT NBR 5356-11:2016, determina ensayos de tipo, de rutina y especiales, a ser realizados en los transformadores de tipo seco. Los ensayos que deben ser realizados en todos los transformadores adquiridos son, por definición, los ensayos de rutina (R). Ensayos de tipo (T) y especiales (E) son realizados mediante acuerdo entre comprador y fabricante, lo cual es conveniente explicitar en las especificaciones técnicas para evitar costos de adquisición inesperados. Los ensayos establecidos en la referida norma son:

- Medición de resistencia de las bobinas (medición de resistencia óhmica, R);
- Medición de relación de transformación y desplazamiento angular (R);
- Medición de impedancia de cortocircuito y pérdidas en carga (R);
- Medición de pérdidas en vacío y corriente de excitación (R);
- Ensayo de tensión aplicada (R);
- Ensayo de tensión inducida (R);
- Ensayo de impulso atmosférico (T);
- Ensayo de descargas parciales (R y E), aplicable a transformadores con tensión máxima igual o superior a 3,6 kV;
- Ensayo de elevación de temperatura (T);
- Medición del nivel de ruido (E);
- Ensayo de cortocircuito (E).

Es considerada una buena práctica, la medición de la resistencia de aislamiento antes y después de los ensayos dieléctricos de rutina (tensión aplicada, tensión inducida y cuando aplicable, descargas parciales). Así también, es aconsejable la realización de los ensayos dieléctricos antes de los demás ensayos, a efectos de verificar posibles variaciones en las características de los transformadores debido a tales ensayos.

En general, la MTSI.DF solicita la realización de los ensayos de espesor (NBR 11003) y adherencia (NBR 10443) de la pintura. La verificación dimensional de los equipos también es usualmente realizada.

Dependiendo de la aplicación de estos equipos, es especificado el ensayo de medición del nivel de ruido. Por otro lado, en la experiencia de la MTSI.DF, existen circunstancias que en ocasiones configuran la necesidad de realizar ensayos de tipo, especialmente el Ensayo de elevación de temperatura.

Por otro lado, en [11], se propone el ensayo de respuesta en frecuencia como método de diagnóstico de transformadores de tipo seco en operación, con una buena proporción de defectos detectables por este ensayo. Puesto que el análisis de respuesta en frecuencia permite detectar cambios mecánicos y eléctricos que varían la distribución interna de capacitancias e inductancias, y consecuentemente, la respuesta en frecuencia de los transformadores de tipo seco, resulta razonable sugerir su empleo, aunque no sea un ensayo normalizado, en transformadores de gran importancia (como los TEP de la CHI) para verificar si los ensayos de aceptación introducen variaciones en los equipos, lo que puede ser indicativo de una falla incipiente, teniendo en cuenta que de todas maneras, para la utilización efectiva de esta técnica de diagnóstico durante la operación de los transformadores, es requerido un diagrama inicial con el cual comparar la evolución de la respuesta en frecuencia de los equipos. De esta manera, se compararían los diagramas de respuesta en frecuencia anterior y posterior a la realización de los ensayos de aceptación de un determinado transformador.

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

---

## 8. PROBLEMAS COMUNMENTE ENCONTRADOS

En base a la experiencia de la MTSI.DF, algunos de los problemas usualmente encontrados durante las inspecciones son:

- Inspecciones convocadas con equipos aún no terminados a la fecha de inicio de la inspección;
- Interpretación inadecuada de especificaciones técnicas;
- Substitución de materiales especificados por otros que cumplen la misma función;
- Falta de calibración de instrumentos de medición;
- Ausencia de registros internos de calidad o inexistencia de controles previos;
- Falta de insumos adecuados (cinta adhesiva) para ensayos de adherencia de la pintura;
- Ruido eléctrico excesivo para ensayos de descargas parciales;
- Capacidad limitada de las fuentes de alimentación de los laboratorios, usadas para los ensayos;
- Infraestructura inadecuada para la producción de transformadores de tipo seco.

Estos problemas pueden conducir al rechazo de los transformadores por no conformidades de documentación, de procesos o de características, así como a la declaración de la inspección como “improductiva”, en el caso de productos no terminados o por cualquier otro inconveniente, atribuible al fabricante, que impida la realización de los ensayos.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se han presentado los principales aspectos en relación a la especificación, materiales empleados, fabricación e inspección de transformadores de tipo seco, con base a la experiencia de la MTSI.DF, resaltando cuestiones frecuentes y/o críticas, con potencial de entorpecer el proceso de suministro de tales equipos a la CHI.

Se recomienda atender las sugerencias señaladas para la especificación de estos equipos, principalmente en lo referente a la determinación anticipada de los ensayos a ser realizados durante la etapa de inspección.

Así también, se recomienda a los fabricantes la adopción y/o el fortalecimiento de prácticas de gestión de calidad asociadas al proyecto, fabricación y ensayos de los transformadores de tipo seco.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

[1] <https://www.itaipu.gov.py/>. Acceso el 3 de junio de 2018.

[2] [https://library.e.abb.com/public/ed6d40ce595e6fafc12578c40050c593/Pg%20Dry\\_HiDry72\\_1LAB000200\\_SP.pdf](https://library.e.abb.com/public/ed6d40ce595e6fafc12578c40050c593/Pg%20Dry_HiDry72_1LAB000200_SP.pdf). Acceso el 3 de junio de 2018.

[3] Finocchio, M. A.F.; Ferreira, J.G.; Figueiredo, O. A. y Mendonça, M. “Comparação entre transformadores a óleo e a seco”, en Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC’2016, Foz do Iguaçu, Brasil. 29 de agosto a 1 de setembro de 2016.

[4] ABNT NBR 5356-11:2016; Transformadores de potência; Parte 11: Transformadores do tipo seco – Especificação. Brasil, 2016.

[5] M. M. S. P. de Abreu, C. Y. Shigue, P. C. de Oliveira, A. L. M. Robin, C. A. Baldan, E. Ruppert. “Determinação dos estágios de gelificação e de vitrificação na cura de um sistema epóxi-amina por





**XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**06 y 07 de Setiembre de 2018**

- 
- análises dielétrica e dinâmico-mecânica”, Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Outubro 2007.
- [6] N. L. Parada. “Estudo e avaliação da aplicação de laser CO<sub>2</sub> na produção de resina epóxi em microreatores”, Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Brasil. 2010.
- [7] <http://resinaepoxi.blogspot.com/2016/03/resina-epoxi-conhecimento-basico.html>. Acceso el 8 de agosto de 2018.
- [8] [https://issuu.com/ro50/docs/09\\_polimeros](https://issuu.com/ro50/docs/09_polimeros). Acceso el 8 de agosto de 2018.
- [9] <https://www.google.com.br/search?q=proceso+de+curado+en+polimeros&oq=proceso+d&aqs=chrome.0.69i59j69i57j0l4.2688j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acceso el 30 de julho de 2018.
- [10] Morais, C.; Suñé, J. and Siqueira, M. “Stator bars of generator units and high voltage bushings of main transformers of Itaipu: aspects of acquisition, factory acceptance tests, controls and management during stocking – the influence of these practices in the power generation”, in 9th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2015). Pilsen, Czech Republic. August 2015.
- [11] Torres, A.; Siqueira, M.; Henning, J.; Ramos, N. “Análisis de Fallas en Transformadores de Potencia tipos Secos y Propuesta de Ensayos Especiales para Evaluación de Condición”, en X SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO. Asunción, Paraguay. Setiembre 2012.
- [12] Jeser Diniz dos Santos, E. “Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Análise do Encapsulamento de Bobinas de Transformadores”, Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Brasil. 2013.
- [13] Finocchio, M. A. F. “Determinação da Temperatura de Enrolamentos de transformadores a Seco e de suas Perdas Totais Baseado em Redes Neurais Artificiais”. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Brasil. 2010.
- [14] ABNT NBR 10443:2008; Tintas e vernizes – Determinação da espessura da película seca sobre superfícies rugosas – Método de ensaio. Brasil, 2008.
- [15] ABNT NBR 11003:2009; Tintas – Determinação da aderência. Brasil, 2009.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
06 y 07 de Setiembre de 2018

---