

## ACTUALIZACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TRANSFORMADORES CON BASE A LA GARANTIA DE LA CALIDAD DE RESULTADOS

**Eduardo Velázquez Castillo, M.Sc. Ing.**

Superintendencia de Materiales  
Central Hidroeléctrica de Itaipu  
Hernandarias – Paraguay

**Nora Díaz Mora, Dra. Ing.**

LaMat - Laboratório de Materiais  
UNIOESTE/PTI - Foz do Iguaçu  
Foz do Iguaçu - Brasil

### RESUMEN

En este trabajo se propone una actualización de las especificaciones técnicas de los transformadores, de modo a incluir los requisitos de competencia técnica del fabricante y demás exigencias referentes a la Gestión de la Calidad, acorde a las normas pertinentes, pues los autores consideran necesario implementar un Sistema de Garantía de la Calidad de Resultados en los ensayos de recepción de transformadores de potencia, además de hacer una revisión en los procedimientos de ensayos, que consiste en determinar claramente los ensayos que serán realizados, la secuencia, los procedimientos a ser aplicados, los criterios de aceptación, estipulando los valores y tolerancias mínimas admitidas así como la inclusión de otros ensayos en función de los nuevos proyectos y tecnologías.

Palabras clave: Transformador, calidad, confiabilidad, ensayo eléctrico.

### 1. INTRODUCCION

Como generalmente los grandes centros de generación están localizados a considerables distancias geográficas de los centros de consumo, se hace necesario el transporte de energía eléctrica por medio de líneas de transmisión con extensiones cada vez mayores. En ese sentido, para que el transporte de estas parcelas de energía sea técnicamente viable y económicamente conveniente, es necesario que las secciones de los conductores de estas líneas sean mantenidas dentro de ciertos valores, lo cual hace necesaria la limitación de la intensidad de corrientes en las mismas. Visto que las tensiones de generación se sitúan generalmente en la faja de 6 a 18kV, la transmisión en estos niveles resultaría en grandes pérdidas por efecto Joule ( $RI^2$ ), debido a las elevadas corrientes en los conductores, lo que torna necesario el empleo de los transformadores de potencia, equipamientos que, con la menor pérdida posible transforman la energía generada de baja para alta y a veces hasta a extra alta tensión, permitiendo el transporte de energía a través de líneas de transmisión con tensiones del orden de millares de voltios y consecuentemente corrientes relativamente menores, con la finalidad principal de reducir las pérdidas.

Los transformadores se constituyen en uno de los principales equipamientos del sistema eléctrico de potencia y de allí la exigencia de una elevada confiabilidad y disponibilidad operativa; en contra partida, los grandes fabricantes en el afán de mantenerse competitivos técnica y económicamente, deben conjugar el casi paradójal desafío impuesto por el mundo

globalizado, de ofrecer al mercado transformadores con calidad cada vez más elevada, con una inevitable reducción en el costo de la fabricación.

El objetivo de este artículo no es, naturalmente, agotar la discusión sobre el asunto, ya que se trata de un tema levantado recientemente y por tanto en pleno proceso de implementación, sistemática, por parte de las empresas del sector eléctrico, lo cual abre gran diversidad de posibilidades, que hasta pueden ser aceptadas, pero siempre y cuando atiendan a los requisitos de las normas pertinentes. En ese sentido, el objetivo principal de este trabajo consiste en resaltar la importancia de este asunto, por medio de una discusión sobre la delicada cuestión de la Garantía de la Calidad y Confiabilidad de los Resultados de los ensayos de recepción en transformadores de potencia y proponer una actualización de las especificaciones técnicas de estos equipamientos de modo incluir este asunto, sin lugar dudas, cada vez más importante.

La necesidad de la actualización de las especificaciones técnicas para transformadores de potencia, propuesta en este trabajo se basa en la vasta experiencia de la Itaipu Binacional, en los suministros que muchas veces evidenciaron una cierta resistencia o dificultad por parte de algunas empresas en implementar a cabalidad los requisitos de calidad previstos en las normas y documentos correspondientes. En ese sentido, con la finalidad de fomentar una mayor eficiencia en las actividades de control de calidad, es fundamental incluir detalladamente todos los requisitos que garanticen la calidad y confiabilidad en los resultados de los ensayos de recepción.

## 2. ESPECIFICACION TÉCNICA

Todo proyecto de ingeniería comienza con un minucioso proceso de elaboración de la especificación técnica, que consiste en un documento en el cual se definen las normas, requisitos, exigencias, procedimientos, ensayos de recepción, así como las características detalladas o condiciones mínimas que debe cumplir un producto, con el fin de que sea fabricado y suministrado de manera estandarizada, de tal forma a operar con la calidad y confiabilidad requerida.

La especificación técnica se constituye en uno de los principales documentos contractuales de todo suministro de la Itaipu Binacional, pues el mismo debe contener exactamente todos los requisitos técnicos del equipamiento a ser suministrado. En ese sentido, en la obligación de celar por la calidad de los equipos adquiridos, los ingenieros se deparan con la necesidad y el gran compromiso de plasmar en este documento todos los requisitos y exigencias requeridas por los transformadores para que, además de atender las condiciones, cada vez más severas, impuestas por el régimen de operación, garantice una elevada confiabilidad y disponibilidad en el suministro de energía, asociadas a una extensión de vida útil de los transformadores, factores éstos, derivados directamente de la calidad de estos equipamientos.

Este documento se torna además una base para la elaboración de la propuesta comercial por parte de los fabricantes interesados en participar del proceso licitatorio de adquisición, lo

cual dificulta la rectificación o inclusión, posterior a la firma del contrato, de ciertos requisitos referentes al proyecto, materiales utilizados, ensayos de recepción y otros ítem, especialmente cuando se trata de asuntos que afectan de alguna manera a los valores monetarios o condiciones comerciales fijados contractualmente con anterioridad.

Por otro lado ya existe una gran preocupación de las empresas del sector eléctrico por incluir en las especificaciones técnicas los términos que permitan la verificación del certificado de los equipamientos y ensayos de laboratorio. En ese sentido, la actualización de las especificaciones técnicas propuesta está en consonancia con una reciente iniciativa liderada por las principales empresas del sector eléctrico brasileño, en el sentido de verificar el cumplimiento a cabalidad, por parte de los fabricantes, de los requisitos de la norma NBR ISO/IEC 17025[1] de modo a garantizar la adecuación de las exigencias referente a la calidad de los resultados de los ensayos.

Esta propuesta de actualización de las especificaciones técnicas de los transformadores, consiste en además de llevar en consideración los asuntos específicos discutidos en los ítems subsecuentes, incluir los requisitos de competencia técnica del fabricante y demás exigencias referentes a la Gestión de la Calidad, acorde a las normas pertinentes, pues los autores consideran que no basta, apenas obtener la Certificación del Proceso de Fabricación [2], sino también es necesario implementar un Sistema de Garantía de la Calidad de Resultados de todos los ensayos.

La actualización de las especificaciones técnicas propuesta, debe llevar en cuenta la Revisión de los Procedimientos de los Ensayos de Recepción, así como la Garantía de la Calidad de Resultados de todos los ensayos, como detallados en los ítems siguientes.

### **3. ENSAYOS DE RECEPCION - REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS**

Los ensayos de recepción o de aceptación consisten en la realización, en las instalaciones del fabricante, de todos los ensayos previstos en la Especificación Técnica, Plan de Inspección y Testes – PIT, normas técnicas correspondientes y otros documentos contractuales.

De acuerdo a la norma NBR 5356 [3], los principales ensayos de recepción en fábrica de transformadores de potencia son divididos en ensayos de Rutina, de Tipo y Especiales, como indicados a seguir:

#### **3.1 Ensayos de Rutina**

Son los ensayos realizados por el fabricante en sus instalaciones, cabiendo al cliente/comprador el derecho de designar un inspector asistir a los ensayos. Estos ensayos deben ser ejecutados en todas las unidades de producción y son los siguientes:

- a. Resistencia eléctrica de los devanados;
- b. relación de tensiones;
- c. resistencia de aislación;

- d. polaridad (para transformadores monofásicos);
- e. desplazamiento angular y secuencia de fases (para transformadores polifásicos);
- f. pérdidas en vacío y en carga;
- g. corriente de excitación,
- h. impedancia de corto circuito;
- i. ensayos dieléctricos:
  - tensión soportable a frecuencia industrial, aplicada al cableado y los accesorios;
  - tensión soportable nominal a frecuencia industrial (tensión aplicada);
  - tensión inducida, para transformadores con tensión máxima del equipamiento  $< 242\text{kV}$ ;
  - tensión soportable nominal de impulso de maniobra, para transformadores con tensión máxima del equipamiento  $\geq 362\text{ kV}$ ;
  - tensión soportable nominal de impulso atmosférico, para transformadores con tensión máxima del equipamiento  $\geq 362\text{ kV}$ ;
  - tensión inducida de larga duración, con medición de descargas parciales, para transformadores con tensión máxima  $\geq 362\text{ kV}$ ;
- j. estanqueidad y resistencia a la presión, a caliente, en transformadores subterráneos de cualquier potencia nominal; y a temperatura ambiente en los demás transformadores con potencia nominal  $\geq 750\text{ kVA}$ ;
- k. verificación del funcionamiento de todos los accesorios;
- l. ensayos en el aceite aislante, después del contacto con el equipamiento, para transformadores con tensión nominal  $\geq 72,5\text{ kV}$ , o potencia nominal  $\geq 5\text{ MVA}$ ;
- m. ensayos de verificación de la pintura de la parte externa de transformadores con tensión nominal  $\geq 242\text{ kV}$ : adherencia y espesor;

### 3.2 Ensayos de Tipo

El comprador debe especificar los ensayos deseados y el número de unidades en las cuales serán ejecutados los ensayos. En este caso le cabe el derecho de designar un inspector para asistir los ensayos. En caso que existieran resultados de ensayos anteriormente ejecutados en transformadores del mismo proyecto, el comprador puede dispensar la ejecución de dichos ensayos. Los ensayos de tipo son citados a seguir:

- a. Elevación de temperatura;
- b. tensión soportable nominal de impulso atmosférico para transformadores con tensión nominal  $\leq 242\text{ kV}$ ;
- c. nivel de ruido;
- d. ensayos en el aceite aislante, después del contacto con el equipamiento, para transformadores con tensión nominal  $\leq 36,2\text{ kV}$ ;
- e. medición de la potencia absorbida por los motores de bombas de aceite y ventiladores.

### 3.3 Ensayos Especiales

Los ensayos considerados especiales son citados a seguir.

- a. Ensayo de corto-circuito;
- b. medición de la impedancia de secuencia cero en transformadores trifásicos;
- c. medición de los armónicos en la corriente de excitación;
- d. análisis cromatográfica de los gases disueltos en el aceite aislante;
- e. factor de potencia de la aislación;
- f. vacío interno;
- g. nivel de tensión de radio interferencia;
- h. ensayos para verificación el esquema de pintura de las partes internas y externas del transformador, conforme norma NBR 11388[4].

A pesar, de que las normas técnicas pertinentes prevean todos estos ensayos, existen varios aspectos que deben ser considerados en la actualización de las especificaciones técnicas, tales como:

- i) Los ensayos de Rutina, de Tipo o Especiales, que serán realizados.
- ii) la secuencia de los ensayos;
- iii) los procedimientos a ser aplicados;
- iv) los criterios de aceptación; estipulando los valores y tolerancias mínimas admitidas;
- v) inclusión de otros ensayos en función de los nuevos proyectos y tecnologías,

La amplia experiencia de Itaipu Binacional demuestra la necesidad de establecer claramente en las especificaciones técnicas, cuales son los ensayos de recepción a ser realizados. A título de ejemplo, para transformadores a seco, visando la calidad del equipo, considerar el ensayo de Tensión inducida con Medición de Descargas Parciales como siendo un ensayo de rutina a pesar de ser considerado en la norma como un ensayo especial. Esto debido a que por las características constructivas del transformador, este se constituye en un ensayo imprescindible, para verificar el comportamiento del dieléctrico sometido a una descarga.

En relación a la secuencia de los ensayos, se verifica la necesidad de realizar el ensayo de Elevación de Temperatura antes de los ensayos que solicitan los dieléctricos, debido a la degradación que normalmente el calentamiento puede provocar en la integridad estructural de los materiales.

Así mismo, deben ser revisados los criterios de aceptación; estipulando los valores y tolerancias mínimas admitidas, como por ejemplo en el ensayo de Tensión Inducida con medidas de Descargas Parciales, establecer como máximo un valor de 200 pC, en circunstancias que la norma contempla un valor de 300 pC [5];

Debe ser llevado en cuenta además, en la actualización de las especificaciones técnicas, que la dinámica de los avances tecnológicos con la introducción de nuevos materiales,

proyectos optimizados, nuevos procesos de fabricación, etc [6] que exigen la realización de otros ensayos que no siempre están en las normas técnicas pertinentes, debido especialmente a la imposibilidad de actualización de las mismas, o por lo menos no con la rapidez requerida, acorde a las exigencias impuestas por estos avances. Así se pueden citar [5]:

- La solicitud de medición de corrientes electrostáticas;
- el registro de ondas de corriente en el ensayo de impulso en aisladores pasantes;
- la verificación funcional de todos los componentes, como ser el relé de detección de gases (Buccholz) en bancada, y el indicador de nivel de aceite del taque de expansión desmontado, en el piso;
- medición de tensiones transferidas, en circunstancias hasta hoy, no normalizada.

#### **4. SISTEMA DE GARANTÍA DE LA CALIDAD DE RESULTADOS**

En este trabajo son enfatizados los ensayos que solicitan el dieléctrico, visto que constituyen los de mayor relevancia, cuando se trata de verificar la calidad e integridad del transformador a través de la calidad de los materiales aislantes utilizados.

La actualización debe contemplar la implementación de un Sistema de Garantía de la Calidad de los Resultados envolviendo los sistemas de medición, así como instrumentos y equipos utilizados para los ensayos eléctricos más representativos, como ser impulso atmosférico, impulso de maniobra, soportabilidad a tensión aplicada y tensión inducida con medición de descargas parciales, contemplando las consideraciones necesarias para nuevos proyectos, incluyendo técnicas o metodologías no previstas aun en las normas técnicas pertinentes.

La norma NBR ISO/IEC 17025[1] describe los requisitos que los laboratorios de calibración y de ensayo que deben atender los fabricantes de equipamientos si desearan demostrar que son técnicamente competentes. Las actuales exigencias de dicha norma hacen con que esos laboratorios implementen procedimientos para validación de métodos no normalizados, métodos desarrollados por el laboratorio o alteraciones de métodos normalizados, cuando sean aplicables. La validación de los métodos de ensayos es de fundamental importancia para comprobar que el método no normalizado desarrollado es capaz de obtener resultados técnicamente válidos. Leite [7] afirma que no tener la validación de un método de calibración o ensayo, es tener apenas un número y no un resultado de hecho, pues no hay garantías de que el método de medición sea adecuado.

La norma NBR ISO/IEC 17025[1] no especifica la manera por la cual este procedimiento debe ser implementado, pero determina que sean establecidos controles. De esta forma, cada laboratorio debe adoptar el procedimiento más adecuado a su caso específico, observando, las exigencias de la norma no que se refiere específicamente al ítem.

En la actualización de las especificaciones técnicas, se propone contemplar de forma explícita, una inspección previa, con la finalidad de verificar que el laboratorio reúne todos los requisitos establecidos. Esta verificación debe ser realizada con la antecedencia necesaria de

forma tal que el fabricante cuente con tiempo hábil para corregir los desvíos o no conformidades levantadas durante dicha inspección. Para el inicio de los ensayos de recepción, es una condición indispensable que el laboratorio sea aprobado en esta inspección previa, o sea, que reúna todas las exigencias requeridas referentes a la Garantía de la Calidad de los Resultados.

En dicha inspección previa del laboratorio del fabricante se debe comprobar la efectiva implementación del Sistema de Garantía de la Calidad de los Resultados, por medio de la verificación de los siguientes ítems: certificados de calibración de los instrumentos y sistemas de medición; actualización de *software*; circuitos eléctricos y la organización de ensayos (solicitar justificativa para la incorporación de componentes adicionales en el circuito de medición); rastreabilidad de las mediciones; periodicidad entre calibraciones; normalización; incertezas de medición y procedimientos; manual de instrucciones describiendo los procedimientos de ensayos en el laboratorio y finalmente una comprobación del dominio de los procedimientos por el personal técnico.

## 5. CONCLUSIONES

En la actualización de las especificaciones técnicas para garantizar la Calidad de Resultados en los ensayos de recepción de transformadores de potencia, los autores proponen:

- Una revisión en los procedimientos, que contemple claramente los ensayos que a ser realizados, la secuencia, los procedimientos, los criterios de aceptación, estipulando los valores y tolerancias mínimas admitidas así como la inclusión de otros ensayos en función de los nuevos proyectos y tecnologías.

- Una inspección previa al laboratorio del fabricante, como condición indispensable para el inicio de los ensayos de recepción, con la finalidad de verificar si el mismo reúne todos los requisitos establecidos.

## 6. REFERENCIAS

1. *Requisitos gerais para as competências de ensaios e calibração - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 Versão Corrigida 2:2006.*
2. *Sistema de gestão da qualidade - Requisitos - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR ISO 9000, 2000.*
3. *Transformadores de potencia – Especificação - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 5356, 1993.*
4. *Sistemas de pintura para equipamentos e instalações de subestações elétricas – Especificação - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 11388:1990 Versão Corrigida:1993.*
5. Pradenas M, L. A. Consultor Autónomo en transformadores de potencia de la Itaipu Binacional . Sao Paulo-SP- Brasil, julio 2014.
6. Velázquez C., E. ; Díaz Mora, N. Avances en la aplicación de nuevos materiales en transformadores de potencia. In: *XV Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ, Foz do Iguaçu*, 2013.
7. LEITE, F. *Validação em Análise Química. Campinas. Ed. Átomo*, 1998.