

## **Experiencia de ITAIPU en la Inspección de Calidad de 2.000 transformadores de distribución**

**Oscar Barboza; Eduardo Velázquez; Gilberto Ríos; Murillo Cussolin**

**ITAIPU BINACIONAL**

**Paraguay - Brasil**

### **1.1 Resumen**

La ITAIPU BINACIONAL, a través de la División de Inspección (MTSI.DF), realizó la inspección de calidad de 2.000 transformadores convencionales de distribución de 100 kVA, adquiridos y donados por ITAIPU para la ANDE, en el marco del acuerdo denominado “APOYO AL FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS DE TRANSMISIÓN, DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA ANDE”.

La principal misión de la inspección es elevar la confiabilidad de los sistemas y estructuras, salvaguardando la integridad de las instalaciones e incrementando la seguridad de las personas, reduciendo costos de mantenimiento, sustitución de equipos e interrupción de los servicios esenciales.

La inspección de los transformadores fue realizada con el mismo criterio y exigencias empleados para los suministros de equipos a ser instalados en ITAIPU. Así, el control de calidad de los transformadores se realizó mediante ensayos y verificaciones ejecutados en el 100% de las unidades fabricadas. De esta manera, se garantiza la calidad, confiabilidad y durabilidad de los equipos, contribuyendo al suministro de energía eléctrica sin interrupciones prolongadas a los usuarios finales.

Este artículo sintetiza los aspectos relevantes del control de calidad de la fabricación de los transformadores de distribución suministrados por ITAIPU a la ANDE en el marco del citado acuerdo. Entre otros, se resaltan: las condiciones generales de inspección; los ensayos realizados; la documentación verificada y los resultados de las inspecciones: defectos y no conformidades; unidades rechazadas o retrabajadas; costos involucrados y lecciones aprendidas.

### **1.2 Palabras clave**

Transformadores de distribución – Control de Calidad – Inspecciones – Ensayos de tipo; rutina y especiales.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo socioeconómico del Paraguay requiere la articulación de su territorio con infraestructura adecuada y eficiente, que permita aumentar la competitividad de su industria y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Este reto exige importantes recursos financieros, tecnología y gran capacidad institucional de gestión.

La energía eléctrica es una de las mayores riquezas del país y constituye un recurso estratégico para impulsar su desarrollo sostenible. El acceso a energía eléctrica de calidad, a un costo razonable, depende de la participación coordinada de los diversos actores que intervienen en los procesos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, así como de los fabricantes que proveen los materiales, equipos y sistemas para la construcción y operación de la red eléctrica

Los sistemas de distribución de energía eléctrica constituyen el medio por el cual se transporta la energía, desde el sistema de transmisión, hasta los usuarios finales. Estos sistemas están constituidos por cables; columnas; aisladores; transformadores; etc.

Los transformadores de distribución reducen el nivel de tensión desde la distribución primaria (Media Tensión - MT, 23 kV en nuestro país), hasta el nivel de tensión correspondiente a la distribución secundaria (Baja Tensión – BT, 380 V en nuestro país), permitiendo el abastecimiento de usuarios residenciales y pequeños usuarios comerciales e industriales.

La ITAIPU BINACIONAL (IB), en el marco del acuerdo denominado “APOYO AL FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS DE TRANSMISIÓN, DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA ANDE”, ha adquirido y donado a la ANDE 2.000 transformadores convencionales de distribución de 100 kVA, suministro ejecutado entre marzo del año 2.019 y junio del 2.020.

Con el mismo rigor aplicado al control de calidad de los suministros propios para la Central Hidroeléctrica de Itaipu – CHI, la IB, a través de la División de Inspección (MTSLDF), realizó la inspección en fábrica de los transformadores citados en el párrafo precedente. El control de calidad de los transformadores se realizó mediante ensayos y verificaciones ejecutados en el 100% de las unidades fabricadas. De esta manera, se garantiza la calidad, confiabilidad y durabilidad de los equipos, contribuyendo al suministro de energía eléctrica sin interrupciones prolongadas a los usuarios finales.

La principal misión de la inspección es elevar la confiabilidad de los sistemas y estructuras, salvaguardando la integridad de las instalaciones e incrementando la seguridad de las personas, reduciendo costos de mantenimiento, sustitución de equipos e interrupción de los servicios esenciales.

En los siguientes capítulos se presenta una síntesis de los aspectos relevantes del control de calidad de la fabricación de los transformadores de distribución suministrados por IB a la ANDE en el marco del citado acuerdo. Entre otros, se resaltan: las condiciones generales de inspección; los ensayos realizados; la documentación verificada y los resultados de las inspecciones: defectos y no conformidades; unidades rechazadas o reabajadas; costos involucrados y lecciones aprendidas.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022**

Cabe destacar la cooperación de los fabricantes proveedores para facilitar la realización de las inspecciones, providenciar las acciones preventivas y correctivas necesarias y en general, adoptar las recomendaciones de los Inspectores de IB, para garantizar la conformidad de los transformadores con todos los requisitos especificados.

## **2. INSPECCIONES EN IB**

### **2.1 La División de Inspección**

La inspección de calidad, o simplemente inspección, constituye la evaluación de la conformidad del material con los documentos de compra mediante la observación y juzgamiento, acompañada, de ser necesario, de mediciones, ensayos o comparación con patrones [1].

En la IB [2], la realización de inspecciones es atribución de la División de Inspección (MTSI.DF), del Departamento de Gestión de Stock (MTS.DF), dependiente de la Superintendencia de Materiales (MT.DF), subordinada a la Dirección Financiera (DF).

El hecho de que la unidad organizacional encargada de realizar las inspecciones no esté subordinada a las direcciones usualmente solicitantes de compras de materiales (Dirección Técnica-DT; Dirección de Coordinación-DC; etc.) favorece el control interno de las adquisiciones, debido, entre otros aspectos, a la autonomía, imparcialidad e independencia entre las unidades que participan en la determinación de la propuesta vencedora de un proceso de compra y la unidad cuya atribución es el control de calidad de los suministros correspondientes a dicho proceso.

### **2.2 Condiciones Generales de Inspección**

Dentro de la IB, a cada Solicitud de Pedido (de compra) de materiales y servicios, se atribuye una determinada Clase de Inspección:

Clase 1: Inspección completa durante todo el proceso de fabricación y con el producto terminado, realizada por Inspector de IB en las instalaciones del proveedor. Ejemplo: transformadores de potencia.

Clase 2: Inspección técnica final, con el producto terminado, realizada por Inspector de IB en las instalaciones del proveedor. Ejemplo: tableros eléctricos.

Clase 3: Inspección del producto terminado, en los centros logísticos de IB. Corresponde a los materiales de menor criticidad y costo. En contrapartida, el volumen de materiales con esta Clase de Inspección es usualmente mayor. Ejemplo: empaquetaduras.

Para las inspecciones de Clase 1 y Clase 2, la Contratista debe someter a aprobación de IB un documento llamado Plan de Inspección y Test (PIT), elaborado siguiendo los padrones establecidos por las Normas Técnicas, Normas Reglamentarias, Normas de Gestión de Calidad y requisitos contractuales, que establece las verificaciones y ensayos a ser realizados, los documentos de referencia, puntos de inspección, local de inspección y toda la información requerida para verificar la

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

conformidad de los ítems suministrados con los documentos de compra, reduciendo la incertidumbre en relación a que los componentes, materiales o equipos suministrados, sean aptos para satisfacer los requisitos del solicitante y los legales y reglamentarios aplicables, así como cualquier requisito del que dependa la adecuación para el uso de los mismos [1].

Posteriormente, le corresponde a la MTSI.DF, coordinar y ejecutar, con la participación de las áreas solicitantes, cuando sea necesario, la inspección y la liberación técnica de los materiales en adquisición o reparación.

Con el PIT aprobado, la Contratista debe convocar la inspección, con plazos de antelación dependientes de la localización de las instalaciones donde se realizará la inspección. Para países del MERCOSUR, este plazo es de al menos 15 días corridos de anticipación al primer evento sujeto a la inspección.

Posterior a la culminación de la inspección, el Inspector elabora un documento llamado Boletín de Inspección (BI), que constituye básicamente un informe de las actividades realizadas y el documento que autoriza a la Contratista el envío de los materiales a IB. En algunos casos, cuando contractualmente exigido, también es elaborado un Certificado de Liberación de Embarque (CLE).

### **3. ADQUISICIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS CONVENCIONALES DE DISTRIBUCIÓN DE 100 KVA AISLADOS EN ACEITE**

La IB, mediante Licitación Pública Nacional (LPN) NA 2421-18, realizada en Paraguay, procedió a la adquisición de 2.000 transformadores trifásicos convencionales de distribución, con potencia de 100 kVA, aislados en aceite mineral, con tensiones nominales de 23/0,38 kV, a ser donados a la ANDE. Esta LPN originó dos Contratos de suministro (OC 4500051758 y OC 4500051759) de 1.000 transformadores cada uno, con dos fabricantes paraguayos. A ambos Contratos fue asociada la Inspección Clase 2 de acuerdo con las especificaciones técnicas (Anexo I de cada Contrato).

La gestión del contrato fue realizada por la Superintendencia de Obras de la Dirección Técnica de IB (SO. DT). No obstante, todo lo referido a inspecciones en fábrica fue ejecutado de acuerdo con los estándares y procedimientos de la MTSI.DF, invistiéndose a la misma de plena autonomía y autoridad para aprobar o rechazar técnicamente los transformadores suministrados, de acuerdo con los criterios establecidos en las especificaciones técnicas y demás documentos de compra.

Los Contratos contemplaron la entrega de 11 (once) lotes de fabricación de aproximadamente 90 (noventa) transformadores en forma mensual, de cada fábrica. De esta manera, la frecuencia de las inspecciones en fábrica fue prácticamente semanal, lo que exigió grandes esfuerzos de planificación y gerenciamiento de la MTSI.DF, teniendo en cuenta que dicha división atendía además simultáneamente las inspecciones propias de materiales para la CHI.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

---

### 3.1 Documentación solicitada y aprobación del PIT

Además de los planos constructivos y otros documentos técnicos (*Workstatement*, PIT, certificados de origen de materia prima, etc.), en conformidad con las especificaciones técnicas, fueron solicitados (a cada fabricante) los certificados de ensayos de tipo siguientes:

- Ensayo de elevación de temperatura [3];
- Ensayo de tensión de impulso atmosférico [4];
- Ensayo de tensión soportada a frecuencia industrial [4];
- Ensayo de tensión inducida de corta duración [4];
- Ensayo de radiointerferencia [5];
- Ensayo de factor de disipación del aislamiento [5];
- Ensayo de determinación del nivel de ruido audible (Cláusula 11.18 [5]).

Los ensayos de tipo verifican la aptitud del proyecto para cumplir las especificaciones técnicas y la capacidad fabril para ejecutar dicho proyecto, con las materias primas especificadas.

Por su parte, las capacidades térmicas y dinámicas para soportar cortocircuitos de los transformadores fueron verificadas mediante memorias de cálculo, en conformidad a lo establecido en las especificaciones técnicas.

La verificación de los certificados de ensayos de tipo y memorias de cálculo es fundamental para el proceso de aprobación del PIT (de cada fabricante), ya que, ante la falta de algún certificado de ensayo o que el mismo resulte insatisfactorio a juicio de la MTSI.DF, el ensayo correspondiente debe ser usualmente incluido entre las actividades del PIT.

Durante la aprobación del PIT fueron realizadas por la MTSI.DF visitas técnicas a las fábricas de los proveedores, de manera a evaluar la capacidad de realizar en tiempo hábil las actividades establecidas en el PIT. Estas visitas también evitaron la aplicación intransigente de las verificaciones establecidas en las especificaciones técnicas, teniendo en cuenta las reales posibilidades técnicas de las fábricas nacionales, considerando el carácter local de la adquisición (LPN).

### 3.2 Ensayos realizados

Dado el carácter idéntico de los transformadores suministrados en una misma fábrica, el mismo PIT aprobado fue utilizado para cada inspección convocada. Los ensayos realizados en fábrica consistieron principalmente en ensayos de rutina, realizados en todas las unidades suministradas (salvo los ensayos de verificación de la pintura y dimensionales, realizados por muestreo). Los ensayos y verificaciones realizadas en fábrica fueron:

- Inspección Visual y verificación de conformidad con los requisitos constructivos: verificación de material; construcción; terminación; placa de características, marcación; identificación; etc.;
- Verificación dimensional: realizada conforme planos constructivos aprobados y especificaciones técnicas.;

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

- Ensayo de estanqueidad y resistencia a la presión a temperatura ambiente: aplicación de presión manométrica de 0,7 kg/cm<sup>2</sup> durante 1 hora [5];
- Medición de la resistencia de aislamiento: aplicación de 2,5 kVcc durante 60 segundos antes y después de los ensayos dieléctricos [5];
- Ensayo de tensión soportada a frecuencia industrial o tensión aplicada: lado AT, aplicación de 50 kV, 50 Hz; lado BT: aplicación de 10 kV, 50 Hz; en ambos casos, durante 60 segundos [4];
- Ensayo de tensión inducida de corta duración: la tensión de 800 V (2V<sub>n</sub>) y frecuencia de al menos 100 Hz (2f<sub>n</sub>) aplicada en el lado BT, durante 120 ciclos [4];
- Medición de resistencia eléctrica de los arrollamientos: aplicación de corrientes inferiores a 15% de los valores nominales de cada lado [5];
- Medición de impedancia de cortocircuito y pérdidas en carga: aplicación de corriente nominal (2,521 A) en lado AT [5];
- Medición de pérdidas en vacío y corriente en vacío: aplicación de tensión nominal (400 V) en el lado BT [5];
- Medición de la relación de transformación, verificación del desplazamiento angular y secuencia de fases: realizada con TTR [5];
- Ensayo de rigidez dieléctrica del aceite aislante (después del contacto con las partes activas): procedimientos conforme a normas ASTM D 877 e IEC 60156;
- Verificación del espesor y adherencia de la pintura de la parte externa: realizada por muestreo conforme normas [6] y [7] (espesor y adherencia, respectivamente).

Para todas las inspecciones, fueron verificados los certificados de calibración de los instrumentos de medición utilizados en los ensayos, de manera a garantizar el correcto estado de estos y su aptitud para realizar mediciones con la precisión requerida.

En este punto, merecen mención especial los ensayos de elevación de temperatura. Si bien estos ensayos son ensayos de tipo de acuerdo a las normas aplicables, la especificación técnica indica que los mismos debían ser considerados como ensayos de recepción (1 transformador por cada lote de fabricación). No obstante, el Pliego de Bases y Condiciones (PBC) indica la existencia de 2 lotes de licitación para cada contrato, discriminados por la región geográfica donde se instalarían los transformadores (Lote 1: Dpto. Central y Asunción; Lote 2: Dpto. de Alto Paraná). Esta ambigüedad generó interpretaciones distintas, por lo que se llegó al consenso de realizar un ensayo de elevación de temperatura por cada dos lotes de fabricación y cada fabricante (tomándose el transformador de mayores pérdidas totales en dichos lotes). De esta manera, a lo largo de ambos suministros fueron realizados 5 (cinco) ensayos de elevación de temperatura en cada una de las fábricas proveedoras.

## **4. RESULTADOS**

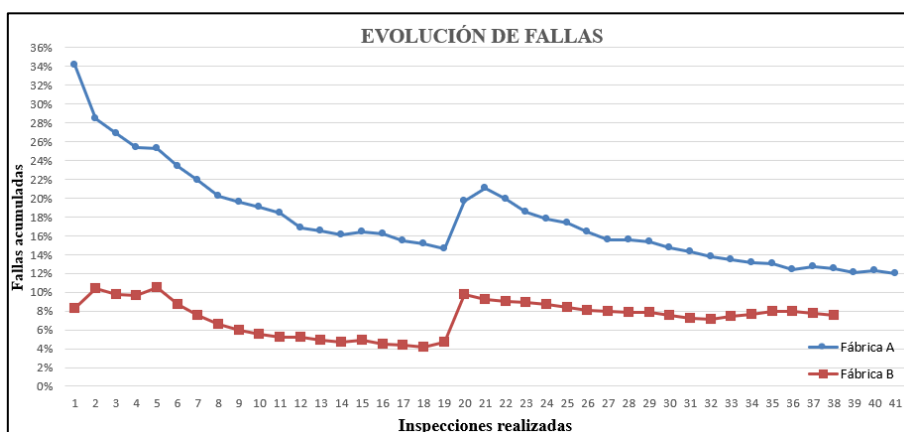
### **4.1 Fallas en los transformadores**

Considerando ambas fábricas, fue llevado a cabo un total de 80 (ochenta) inspecciones. La Figura 1 a continuación, muestra la evolución del porcentaje de fallas acumuladas en función a las inspecciones realizadas. Puede observarse la reducción paulatina del porcentaje inicial de fallas, lo

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

cual se atribuye directamente al control de calidad realizado durante las inspecciones, ya que el tipo de transformadores suministrados ya es fabricado desde hace bastante tiempo por los proveedores, descartando eventuales curvas de aprendizaje correspondientes al dominio del proceso de fabricación de los equipos.

Casi de forma coincidente, ambas fábricas presentaron un incremento en la tasa de fallas en torno a la vigésima inspección. Esto fue debido principalmente a los problemas en la pintura externa, como descrito más adelante (5.1). Posterior a estos eventos, se observa nuevamente la disminución paulatina en la tasa de fallas.

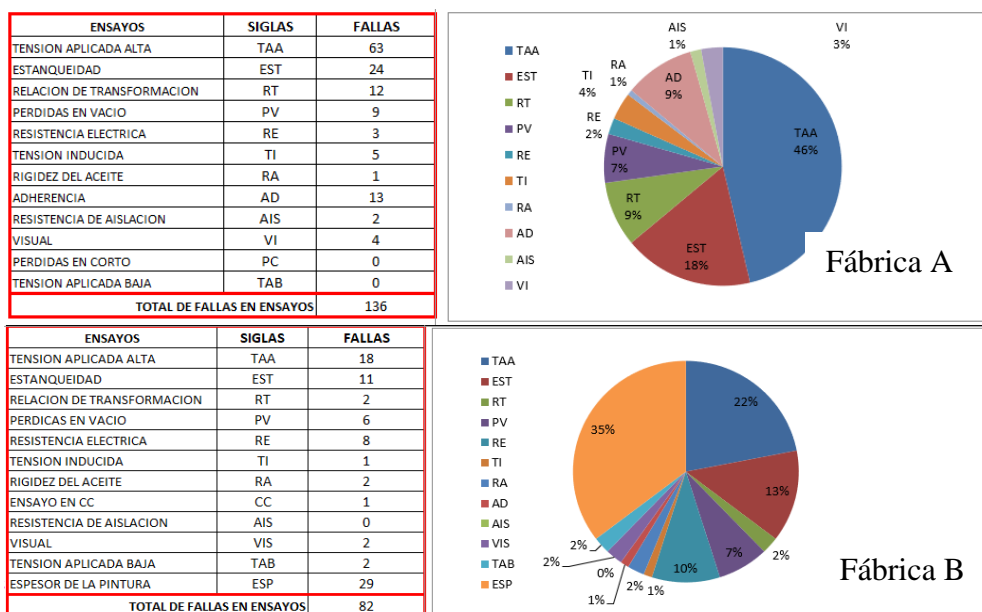


**Figura 1: Evolución de porcentaje de fallas acumuladas en función a inspecciones realizadas.**

Con respecto al tipo de fallas presentadas, la Figura 2 muestra un resumen discriminado por proveedor, donde se muestran los ensayos en los cuales los transformadores fueron reprobados y sus porcentajes en relación con la cantidad total de los equipos rechazados.

Puede apreciarse que se tuvieron fallas en todos los ensayos realizados, revelando la importancia de cada uno de ellos en la evaluación de la calidad de los transformadores. Exceptuando los rechazos por ensayos de la pintura (realizados por muestreo), la causa principal de reprobación de los equipos fue la falla en el ensayo de tensión aplicada en alta (TAA), seguida de fallas en el ensayo de estanqueidad.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022



**Figura 2: Tipos de fallas registradas por proveedor.**

## 4.2 Costos de las Inspecciones

La inversión en inspección representó el 3,3% del valor de los contratos, equivalente al 30,4% de los equipos corregidos, lo que revela la importancia y viabilidad de las inspecciones.

El cómputo de la inversión en inspección llevó en consideración horas-hombre de los inspectores de IB, pasajes y viáticos, mientras que el costo de los transformadores reprobados sólo lleva en cuenta el costo del equipo, sin considerar todos los impactos y costos involucrados con el transformador en operación, como el costo de sustitución del equipo (mano de obra y logística involucrada), energía no suministrada, eventuales daños en la red y equipos de los usuarios, costo imagen de la empresa, seguridad de las personas, etc.

## 5. LECCIONES APRENDIDAS

### 5.1 Verificaciones de espesor y adherencia de la pintura

La pintura de los transformadores desempeña un papel importante en la durabilidad de los equipos, ya que evita la corrosión de la cuba, tapa y radiadores. Los ensayos realizados con respecto a la pintura fueron los de espesor y adherencia, considerando como criterios de aceptación, de acuerdo con las especificaciones técnicas y las normativas aplicables, espesores de 80 µm y grados de adherencia de Y1X1 ([6] y [7], respectivamente).

Estos ensayos fueron realizados por muestreo. Considerando la cantidad total de transformadores presentados a inspección en cada ocasión, usualmente eran tomadas muestras de 3 a 5 unidades.



**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

En ambas fábricas proveedoras se presentaron problemas de pintura. Dado el método de muestreo y alcanzado el número de unidades defectuosas en la muestra que implica el rechazo de las unidades presentadas a inspección (lote), se procedió a rechazar todas las unidades presentadas a inspección en tales ocasiones, con lo que el impacto en la cantidad total de equipos rechazados fue relevante.

Los problemas en la pintura de los transformadores coincidieron con la rotación de personal en el área de pintura de las fábricas. Este hecho denota la necesidad de mantener el control y la verificación de estas características durante todo el proceso de suministro, a pesar de obtener resultados satisfactorios en los ensayos, en reiteradas ocasiones.

### **5.2 Fallas en el ensayo de tensión aplicada**

Durante una de las inspecciones se ha dado el caso de que varias unidades (cuatro) presentaron de manera sucesiva fallas dieléctricas con perforación del aislamiento en el ensayo de tensión aplicada (lado AT), a pesar de que el ensayo de resistencia de aislación realizado antes de los ensayos dieléctricos no revelara la existencia de fallas.

Luego de descartar problemas en el autotransformador elevador y en el equipo de medición, el fabricante procedió a elevar la tensión aplicada en el lado AT de uno de los transformadores fallados, desprovisto de su tapa, de manera a evidenciar visualmente el punto de falla, lo cual fue logrado en torno al valor de tensión aplicada indicada en la norma [50 kV], de acuerdo con la clase de aislación de los transformadores.

Posteriormente el transformador fue desencubado, retirándose la parte activa del mismo y desmontando el sistema aislante de la bobina en cuya fase se había presentado la falla. Fue verificado que los hilos conductores de la bobina de AT se encontraban a la distancia de proyecto del inicio del soporte de la bobina, es decir, la misma se había fabricado de acuerdo con las especificaciones de diseño, manteniendo las distancias eléctricas adecuadas. De esta manera, se llegó a la conclusión de que el problema radicaba en la rigidez dieléctrica del medio aislante.

Así, antes de continuar con los ensayos, se procedió a un proceso de secado y filtrado del aceite de todos los transformadores aún no ensayados (proceso que demoró aproximadamente 3 horas por transformador) tras lo cual, los transformadores presentaron condiciones dieléctricas adecuadas, verificadas por los ensayos de resistencia de aislación, tensión aplicada y tensión inducida.

### **5.3 Ensayos de estanqueidad**

En los ensayos de estanqueidad (hermeticidad) y resistencia a la presión a temperatura ambiente, se somete a cada transformador a una presión interna manométrica de  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  durante 1 hora, mediante la inyección de un gas inerte (usualmente Nitrógeno). Cada transformador es individualmente reprobado si al cabo de dicho periodo se observa una disminución en la presión manométrica aplicada (señal de fuga de gas) o si se observan pérdidas de aceite. Para la detección de este último modo de falla, es de vital importancia la limpieza e iluminación del laboratorio donde se realizan los ensayos, además de la disposición de los equipos en el mismo.

---

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

Otra cuestión de relevancia, pese a parecer trivial, es el error de paralaje que puede cometerse al observar la proyección de un indicador sobre una escala graduada, como es el caso de los manómetros utilizados durante estos ensayos. Debe observarse el instrumento de forma perpendicular al plano de la escala, de manera a minimizar dicho error, lo cual es obvio cuando se verifican pocas unidades, pero a medida que se incrementa la cantidad de transformadores presentados a inspección, el riesgo de incurrir en el error de paralaje es mayor.

#### **5.4 Rigidez dieléctrica del aceite aislante**

Si bien la especificación técnica considera la realización de varios ensayos del aceite aislante como ensayos de aceptación (rigidez dieléctrica; contenido de agua; factor de pérdidas dieléctricas; tensión interfacial; etc.), se optó por el ensayo de rigidez dieléctrica (después del contacto con las partes activas) como representativo de las condiciones del aceite, en función a la capacidad de los laboratorios de las fábricas proveedoras. Para las demás características fisicoquímicas del aceite aislante, se admitió la presentación de certificados.

El ensayo de rigidez dieléctrica del aceite aislante fue realizado en todas las unidades presentadas a inspección. La MTSI.DF considera la realización de este ensayo en vista a la posibilidad de contaminación del aceite aislante con los componentes internos de cada transformador.

Por otro lado, en una de las fábricas se presentaron dificultades para la realización del ensayo de rigidez dieléctrica debido al tipo de electrodos disponibles en su laboratorio. La especificación técnica indica la realización de los ensayos de acuerdo con la norma ASTM D 877, que establece el uso de electrodos del tipo disco, mientras que dicho laboratorio poseía solo electrodos del tipo casquete esférico, compatibles con la norma IEC 60156. Además de procedimientos de ensayo diferentes, implica valores de rigidez dieléctrica mínima distintos, en función a la geometría de los electrodos empleados. La complicación principal radica en que no existe una equivalencia directa entre los valores de aceptación establecidos en cada norma.

La cuestión fue solventada con investigaciones realizadas por la MTSI.DF y consultas a las partes involucradas para establecer un valor de referencia como criterio de aceptación, para el ensayo de rigidez dieléctrica realizado mediante la norma IEC 60156. Se considera prudente prever esta posibilidad en especificaciones técnicas futuras y establecer allí los mecanismos adecuados para sortear este tipo de dificultades.

#### **5.5 Elevación de temperatura y condiciones ambientales normalizadas**

Otra cuestión de relevancia respecto al ensayo de elevación de temperatura es que en la especificación técnica fue establecida como temperatura máxima del aire, la de 45 °C, lo cual tiene un impacto importante con respecto al sistema de refrigeración de los transformadores, ya que, la norma aplicable [3] establece entre las condiciones normales de funcionamiento, la de temperatura máxima del aire de 40°C. Esta diferencia implica que, en el ensayo de elevación de temperatura, los límites de elevación de temperatura media de los devanados, de la superficie del aceite y del punto más caliente

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

de los devanados, sea reducido en 5°C o en su defecto, sean utilizados materiales aislantes con mayor clase térmica.

Este hecho revela la conveniencia del involucramiento de la División de Inspección en las etapas iniciales de un proceso de compra, durante la elaboración y análisis de las especificaciones técnicas, de manera a contribuir con su conocimiento y experiencia en lo referente a los ensayos que serán realizados posteriormente a los suministros y su vinculación con otros requisitos establecidos en dicho documento.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La inspección en fábrica de 2.000 transformadores de distribución adquiridos por la IB para la ANDE, realizada por la MTSI.DF ha contribuido sustancialmente a la calidad del suministro, a un costo razonable, incrementando la confiabilidad de los equipos y asegurando su conformidad con las especificaciones técnicas y demás documentos de compra.

Se han registrado fallas en todos los ensayos realizados, lo cual revela la importancia de la realización de los ensayos indicados en las normas técnicas aplicables en todas las unidades suministradas, consolidando la eficiencia global de la adquisición.

La verificación de los documentos técnicos como certificados de ensayos de tipo; memorias de cálculo; certificados de origen de materia prima; certificados de calibración de instrumentos; etc.; constituye una importante labor que complementa las inspecciones en fabrica y permite anticiparse a potenciales problemas en la calidad de los equipos suministrados.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Manual de Inspecciones. ITAIPU BINACIONAL, Paraguay-Brasil, 2020.
- [2] Reglamento Interno. ITAIPU BINACIONAL, Paraguay-Brasil, 1992.
- [3] NBR 5356-2:2007, “Transformadores de potência. Parte 2: Aquecimento”. ABNT, Brasil, 2007.
- [4] NBR 5356-3:2007, “Transformadores de potência. Parte 3: Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos em ar”. ABNT, Brasil, 2007.
- [5] NBR 5356-1:2007, “Transformadores de potência. Parte 1: Generalidades”. ABNT, Brasil, 2007.
- [6] NBR 10443:2008, “Tintas e vernizes – Determinação da espessura da película seca sobre superfícies rugosas – Método de ensaio”. ABNT, Brasil, 2007.
- [7] NBR 11003:2009 “Tintas – Determinação da aderência”. ABNT, Brasil, 2007.