



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GTM/07  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – XIII**

**ESTUDIO DE TRANSFORMADORES, REACTORES, MATERIALES Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES- GTM**

**TÉCNICAS DE ENSAYO Y MEDICIÓN EN ALTA TENSIÓN CON BASE A LOS NUEVOS REQUISITOS  
NORMATIVOS Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE LOS TRANSFORMADORES**

**Eduardo Velázquez Castillo (\*)**  
**ITAIPU BINACIONAL**

**Nora Díaz Mora**  
**UNIOESTE**

**RESUMEN**

En este artículo se discuten los aspectos más relevantes de las técnicas de ensayos y medición en alta tensión, con énfasis en los principales ensayos dieléctricos, evaluando su impacto en la calidad de los transformadores, con base a las nuevas exigencias de las normas ABNT\_NBR\_IEC60060-1 e IEC60060-2, así como la ABNT\_NBR\_ISO/IEC17025, que contemplada los requisitos que un laboratorio de ensayo y calibración debe atender para demostrar que tiene implementado un sistema de gestión eficiente, que es técnicamente competente y es capaz de producir resultados técnicamente válidos; exigencias que, a criterio de los autores, deben ser contempladas en la especificación técnica.

**PALABRAS-CLAVE**

Transformador, calidad, dieléctricos, requisitos, especificación técnica.

**1.0 - INTRODUCCIÓN**

Históricamente los transformadores se han constituidos en uno de los principales equipamientos del sistema eléctrico de potencia y transmisión de energía y de allí la exigencia de una elevada confiabilidad y disponibilidad operativa asociada a la extensión de vida útil, para atender las condiciones, cada vez más severas, impuestas por el régimen de operación [1]. A pesar que el principio básico de funcionamiento de un transformador, basado en la ley de inducción de Faraday, por medio del sistema núcleo-bobinado, se mantenga inalterado desde su invención en el siglo IXX, estos equipos han sufrido notables modificaciones y evolucionado grandemente en lo que se refiere al diseño, proyecto y desempeño, a juzgar por el incremento significativo de los niveles de tensión y potencia, así como una gran reducción de la masa, tamaño, niveles de pérdidas y de ruido, entre otros. Un análisis detallado de esa evolución indica que esas mejorías son atribuidas al uso de nuevos materiales o con características perfeccionadas, así como por la aplicación de herramientas avanzadas en la optimización del proyecto, cálculos, procesos de fabricación y un mejor control de calidad en todas las etapas de obtención del producto [2].

Sin embargo, a pesar de todos estos avances tecnológicos, las estadísticas demuestran muchas veces, relativamente elevados índices de fallas en transformadores nuevos cuando comparados a transformadores más antiguos, con las mismas características y condiciones operativas [3].

En ese sentido, los grandes fabricantes en el afán de mantenerse competitivos técnica y económicamente, deben conjugar el casi paradójico desafío impuesto por el mundo globalizado, de ofrecer al mercado transformadores con calidad cada vez más elevada y con una relativa reducción en los costos de fabricación.

Así, con la finalidad de elevar cada vez más la calidad y confiabilidad de los transformadores se vienen tomando acciones en el sentido de aumentar el nivel de exigencia en las especificaciones técnicas, optimizar la concepción

(\*) Usina Hidrelétrica de Itaipu. Rua Tancredo Neves, n° 6731 – CEP 85856-970 - Foz do Iguaçu - PR – Brasil  
Tel: (+55 45) 3520 6274 – Email: evc@itaipu.gov.py

del proyecto, respetar las condiciones de operación, actualizar el histórico y antecedentes de falla, implementar control de calidad adecuado en el proceso de fabricación, mejorar las técnicas de mantenimiento [3] y especialmente garantizar la calidad de los ensayos de recepción en fábrica.

Considerando que la especificación técnica es uno de los principales documentos de todo suministro y que el mismo debe contener exactamente todos los requisitos técnicos que garanticen la calidad del equipamiento, los autores consideran pertinente que dicho documento contemple, de una forma específica, las nuevas exigencias previstas en la norma ABNT NBR IEC 60060-1 [4], que trata de ensayos dieléctricos, con tensión alternada, tensión de impulso y la combinación de ambas; la IEC 60060-2 [5], aplicable a sistemas completos de medición, y sus componentes, utilizados para la medición de tensiones elevadas durante los ensayos de laboratorio, así como la norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 [6], que contempla los requisitos que los laboratorios de ensayo y calibración deben atender para demostrar que tienen implementado un sistema de gestión y que son técnicamente competentes y capaces de producir resultados válidos.

En ese sentido, los autores proponen una actualización de las especificaciones técnicas que lleve en cuenta la Revisión de los Procedimientos de los Ensayos de Recepción, así como la Garantía de la Calidad de los Resultados de todos los ensayos de recepción en fábrica.

## 2.0 - ACTUALIZACIÓN DE LAS ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

Todo proyecto de ingeniería requiere un minucioso proceso de elaboración de la especificación técnica, que consiste en un documento contractual en que 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.

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. En ese sentido, la experiencia de la Itaipu Binacional en las actividades de inspección en fábrica ha demostrado, con frecuencia, dificultades relacionadas a las necesidades de rectificación o inclusión, posterior a la firma del contrato, de ciertos requisitos considerados fundamentales para la garantía de la calidad de los equipos, especialmente cuando se trata de asuntos que afectan de una u otra forma a los costos o condiciones comerciales, fijados con anterioridad. Por lo tanto, en la práctica se verifica la necesidad de prever todos los requisitos que garanticen la calidad y confiabilidad en los resultados de los ensayos de recepción. De esta forma, 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 las especificaciones técnicas todas las exigencias requeridas por los transformadores.

Por otro lado existe una gran preocupación por incluir en las especificaciones técnicas 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 [1], sino también es necesario implementar un Sistema de Garantía de la Calidad de Resultados de todos los ensayos. En ese sentido, la actualización de las especificaciones técnicas propuesta aquí está en consonancia con una reciente iniciativa liderada por las principales empresas del sector eléctrico brasileño, en el sentido de verificar el cumplimiento, por parte de los fabricantes, de los requisitos de la norma NBR ISO/IEC 17025 [6] de modo a garantizar la adecuación de sus laboratorios en relación a la certificación de equipamientos y ensayos.

La actualización de las especificaciones técnicas, debe estar relacionada especialmente, a las técnicas y métodos de ensayos de alta tensión y calibración, criterios de aceptación, valores y tolerancias admitidas, trazabilidad de la medición, la comprobación de competencia técnica del fabricante, en fin, todos los requisitos referentes a la garantía de la calidad en los resultados de los ensayos de recepción en fábrica de estos equipamientos.

A pesar, de que las normas técnicas pertinentes establezcan claramente cuales ensayos son considerados de rutina, de tipo o especial, existen varios aspectos que deben ser llevados en cuenta en las especificaciones técnicas. En ese sentido, la amplia experiencia de Itaipu Binacional demuestra la necesidad de establecer claramente, cuales son los ensayos de recepción a ser realizados, además de la secuencia de los mismos considerando su relevancia en la detección de fallas incipientes; así como, los procedimientos a ser aplicados y los criterios de aceptación; estipulando los valores y tolerancias mínimas admitidas.

Debe ser llevado en cuenta además, el natural desfase existente entre la actualización de las normas técnicas y las exigencias impuestas por la dinámica de los avances tecnológicos con la introducción de nuevos materiales, nuevos procesos de fabricación, proyectos optimizados y tecnologías emergentes [1], que exigen la realización de otros ensayos en circunstancias aún no previstas en las normas técnicas pertinentes, tales como, la medición de corrientes electrostática y medición de tensiones transferidas. En ese sentido se puede citar como ejemplo el hecho de que en la Itaipu Binacional, se haya fijado un valor de Descargas Parciales de 200 pC como máximo admisible, en circunstancias que la norma contempla 300 pC; como también haber implementado el registro de la onda de corriente en ensayos de soportabilidad del dieléctrico en aisladores pasantes de alta tensión [7].

Esta actualización debe contemplar aun, de forma explícita, que el cliente se reserva el derecho de realizar una inspección previa, con la finalidad de verificar si el laboratorio atiende a todos los requisitos, cuya aprobación debe tornarse una condición indispensable para dar inicio a los ensayos de recepción.

### 3.0 - ENSAYOS DE SOPORTABILIDAD A IMPULSOS

Los ensayos de recepción en fábrica también llamados 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 [8], los principales ensayos de recepción en fábrica de transformadores de potencia son divididos en ensayos de Rutina, de Tipo y Especiales, no obstante, en este trabajo son enfatizados los ensayos dieléctricos, más representativos, considerando 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 en la fabricación. Son comúnmente llamados de ensayos dieléctricos aquellos que de alguna u otra forma solicitan el dieléctrico o el sistema de aislación del transformador y que siendo considerados de rutina, o de tipo en algunos casos, son realizados por el fabricante en sus instalaciones, cabiendo al cliente/comprador el derecho de designar un inspector para asistir a los ensayos, quien con base a los resultados debe asumir la responsabilidad de aprobar o rechazar el equipamiento.

En este trabajo son enfocados los ensayos de tensión soportable nominal de impulso atmosférico y el de tensión soportable nominal de impulso de maniobra, considerando especialmente los nuevos requisitos normativos al respecto y su impacto en la calidad y confiabilidad de los transformadores.

#### 3.1 Ensayo de tensión soportable nominal de impulso atmosférico

El ensayo de tensión soportable nominal de impulso atmosférico iniciado por 1930 [9], fue idealizado para aplicar esfuerzos al dieléctrico que corresponden aproximadamente a la acción de surtos de tensión debidos a descargas atmosféricas y tiene la finalidad de verificar el estado general del dieléctrico ante dichas solicitaciones.

Con relación a la filosofía, utilidad y la finalidad del ensayo de impulso, tres corrientes dividen la opinión de los fabricantes y usuarios. La primera considera que éste ensayo está destinado meramente a la verificación dieléctrica del proyecto y la graduación de los niveles de aislamiento, con la finalidad de relacionar éstos factores con la soportabilidad del material ante surtos eléctricos estandarizados dentro de limitantes económicos. Para la segunda corriente el mismo consiste principalmente en una verificación de errores groseros de proyecto y fabricación y naturalmente defiende la necesidad de éste ensayo en cada una de las unidades producidas. La tercera corriente, considerando la dificultad de la medición meticulosa del surto aplicado así como la complejidad en la detección exacta de los defectos invisibles, ocasionados durante éste ensayo, concluye que es prácticamente imposible que una unidad pase por este ensayo, sin generar alguna fragilidad de su dieléctrico y por tanto optan por su eliminación como ensayo de aceptación, dejando su utilización al ingeniero proyectista como herramienta de laboratorio. En la actualidad, en la Itaipu Binacional independientemente de los méritos de cada línea de pensamiento, el ensayo de impulso se tornó un ítem primordial de los ensayos de aceptación en fábrica, habiendo sido incorporado además por Pradenas [7], como requisito complementar en las especificaciones técnicas, el correspondiente registro de corriente en los ensayos soportabilidad a impulso atmosférico en aisladores pasantes de alta tensión, por considerar fundamental, para la detección de fallas incipientes.

Los ensayos de impulso permiten determinar si el aislamiento del transformador es capaz de soportar esfuerzos eléctricos asociados a descargas atmosféricas y sobretensiones de maniobra. Esto es conseguido aplicando a la aislación del transformador ondas de tensión de impulso normalizadas de alta tensión, cuya duración es del orden de los microsegundos, para impulso atmosférico y milisegundos para impulso de maniobra, que tienen la finalidad de simular las sobre tensiones asociadas a descargas atmosféricas o interrupciones/maniobras en el sistema eléctrico. Si la aislación del transformador no sufre ruptura durante estas aplicaciones se dice que el equipo ha superado la prueba de impulso [7].

Las ondas estandarizadas de impulso atmosférico pueden ser Plena, Cortada y Escarpada, como detallados a seguir.

##### 3.1.1 Ensayo de tensión soportable nominal de impulso atmosférico pleno - IAP

Las ondas de impulso de tensión fueron estandarizadas para que los ensayos en transformadores pudiesen ser realizados en cualquier laboratorio de alta tensión en bases comunes. Así, las normas pertinentes adoptan la onda estándar de  $1,2 \times 50\mu s$  para ensayos de impulso atmosférico pleno. Estos tiempos estandarizados, corresponden a los valores aproximados de los tiempos de frente y el tiempo hasta el valor medio (de cola) de las ondas de tensión debido a descargas atmosféricas en las líneas de transmisión, en este caso, no hay descarga externa, es decir, la onda llega al equipamiento en su valor pleno, como indicado en la Figura 1, con los parámetros de tiempo

correspondientes. Haciendo una analogía con las ondas de tensión oriundas de descargas atmosféricas, el IAP correspondería a una descarga en un punto de incidencia bien alejado del local donde está instalado el transformador, de esta forma la distancia amortigua la onda que alcanza dicho equipamiento.

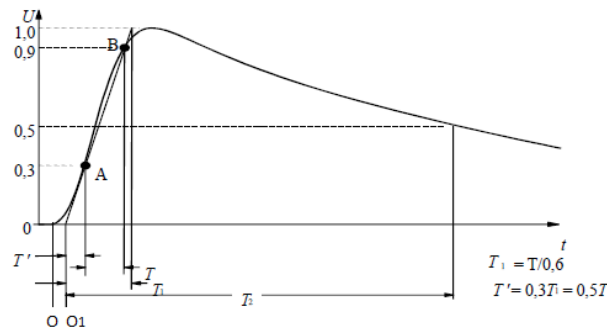


FIGURA 1 – Impulso atmosférico pleno de tensión [4].

Sin embargo, en la práctica no siempre es factible conseguir los valores requeridos, debido especialmente a las influencias del bobinado del transformador y de las características del generador de impulsos (efectos inductivos y capacitivos), por lo que ciertas tolerancias son permitidas para el frente y cola de la onda, conforme indicados en la Tabla 1.

Tabla 1 – Parámetros estandarizados para ensayos de IAP [4]

PARAMETRO	VALOR	TOLERANCIA	RANGO ADMISIBLE
Tensión de ensayo ( $U_e$ )	A ser especificado	$\pm 3\%$	A ser especificado
Tiempo de frente ( $T_1$ )	1,2 $\mu s$	$\pm 30\%$	$0,84\mu s \leq T_1 \leq 1,56\mu s$
Tiempo de cola ( $T_2$ )	50 $\mu s$	$\pm 20\%$	$40\mu s \leq T_2 \leq 60\mu s$
Sobre elevación ( <i>overshoot</i> )	En relación a $V_e$	$\leq 10\%$	A ser especificado
<i>Overshoot</i> para $V > 2000$ kV	En relación a $V_e$	$\leq 20\%$	A ser especificado

Cabe destacar que las tolerancias indicadas en la Tabla 1, son las diferencias entre los valores especificados y los efectivamente obtenidos en los ensayos correspondientes. Estas diferencias no deben ser confundidas con los errores de medición, que son las diferencias entre los valores reales y los medidos [4].

### 3.1.2 Ensayo de tensión soportable nominal de impulso atmosférico cortado – IAC

Una onda de impulso atmosférico cortada es aquella que se interrumpe bruscamente por una descarga disruptiva provocando una brusca caída de tensión, prácticamente a cero. El corte puede ocurrir en la frente, en la cresta o en la cola del impulso. Así, es llamado de impulso atmosférico cortado en la frente cuando el corte o colapso se produce en la frente, como indicado en la Figura 2, con sus demás parámetros; y cuando el corte ocurre en la cola, llamado de impulso atmosférico cortado en la cola, como indicado en la Figura 3, con sus demás parámetros.

La duración hasta el corte es un parámetro convencional definido como el lapso entre el origen virtual,  $O_1$  y el instante de corte ( $T_c$ ), que corresponde al instante en que la extrapolación de la línea entre 70% y 10%, puntos (C y D) sobre la descarga disruptiva corta el nivel inmediatamente antes de la disrupción. Estos valores son indicados en la Tabla 2, con sus respectivas incertezas admisibles para un sistema de mediciones aprobado.

Tabla 2 – Parámetros estandarizados para ensayos de IAC

PARAMETRO	RANGO	INCERTEZAS
Tensión de ensayo ( $U_e$ )		$\pm 3\%$
Tiempo ( $T_1, T_2, T_c$ )	Todos los demás	$\leq 10\%$
Tiempo de corte -cola ( $T_c$ )	$2\mu s < T_c < 5\mu s$	$\leq 3\%$
Tiempo de corte -frente ( $T_c$ )	$0,5\mu s < T_c < 0,9\mu s$	$\leq 5\%$

La onda cortada tiene una magnitud ligeramente superior que la tensión de descarga crítica de los aisladores pasantes del transformador y, por tanto, la onda descarga externamente por el material aislante del aislador pasante. Si la descarga atmosférica impactara la línea de transmisión muy próxima al transformador, se tendría una onda escarpada con una magnitud bien mayor que la tensión de descarga del aislador pasante, generando una descarga externa por el aislador pasante y por tanto cortada en la frente. Por tanto, se puede concluir que la distancia donde ocurre la descarga tiene gran influencia sobre la magnitud y severidad de la onda, siendo que la misma podrá ser grandemente atenuada por la distancia recorrida y el tiempo en que alcanza al transformador.

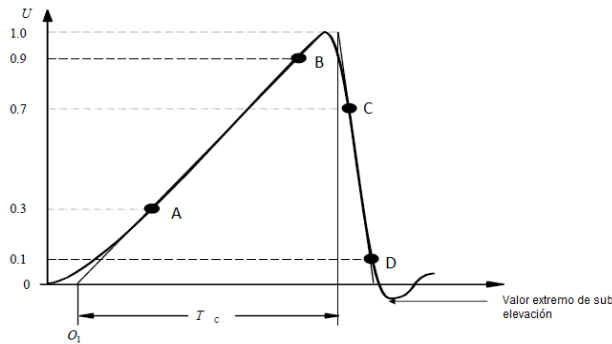


FIGURA 2 – Impulso atmosférico cortado en la frente [4]

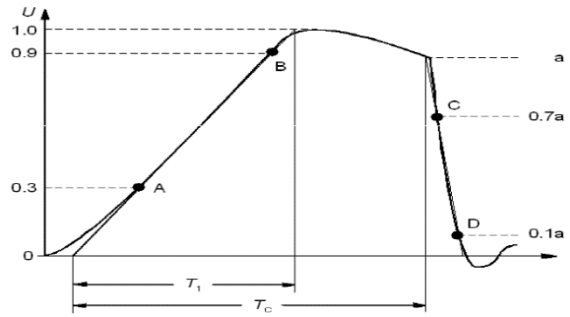


FIGURA 3 – Impulso atmosférico cortado en la cola [4]

La finalidad del ensayo de impulso es verificar la soportabilidad de la aislación, ya que efectivamente solicita el dieléctrico y siendo así no se puede dejar de considerar que una cantidad excesiva de aplicaciones de impulso, en alguna medida envejece el transformador, o en el peor de los casos, hasta puede provocar el colapso del mismo. Sin embargo, de acuerdo a las recomendaciones normativas se permite efectuar apenas 3 aplicaciones de onda plena para dirimir cualquier sospecha de anomalía en el transformador, lo cual no siempre es suficiente para diagnosticar y dimensionar el problema. No obstante, caso sea necesario investigar alguna señal de descarga, durante un ensayo de impulso o aclarar cualquier duda con relación al comportamiento del transformador, solo puede ser elucidada, con otras aplicaciones, cuya cantidad y severidad de las mismas, con criterio técnico, solo podrán ser definidas y dimensionadas en el transcurso de la investigación. En ese sentido, si por ventura, el transformador llegare a fallar por aplicar más una solicitud que lo permitido por norma, sería una demostración incontestable de que el transformador realmente presentaba falla incipiente [7].

### 3.1.3 Ensayo de tensión soportable nominal de impulso de maniobra - IM

La sobre tensión de maniobra, se caracteriza por poseer tiempo de crecimiento de algunas centenas de  $\mu s$  y duración de varios millares de  $\mu s$  y posee, en general, energía superior a las sobre tensiones atmosféricas, principalmente en los sistemas eléctricos cuya tensión de operación es superior a 230 kV. Estas sobre tensiones someten a esfuerzos dieléctricos significativos, principalmente, a la aislación externa de equipamientos de alta tensión. El impulso de maniobra estandarizado, tiene una duración hasta la cresta de 250  $\mu s$  y de 2500  $\mu s$  hasta el instante que la tensión pasa por cero por la primera vez [7]. Las características de esta onda requieren algunos parámetros adicionales conforme indicados en la Figura 4.

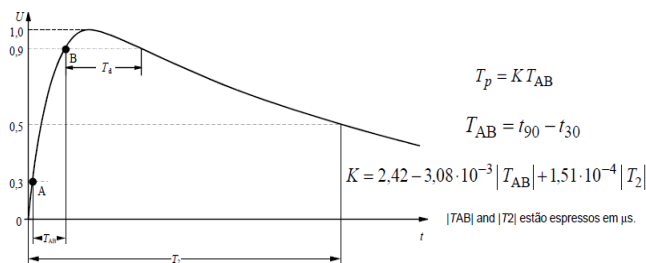


FIGURA 4 – Tensión de impulso de maniobra [4]

Las sobre tensiones de origen interna, casi siempre son consecuencias de maniobras en el sistema, como ser apertura de disyuntor y variaciones de carga. Estas ondas, también producen sobretensiones caracterizadas por ondas que se propagan a lo largo del sistema eléctrico, pudiendo alcanzar valores hasta cinco veces superior a la tensión nominal del sistema, implicando en grandes solicitaciones, principalmente para sistemas en alta tensión y en algunos casos, pudiendo ser más peligrosas que aquellas provenientes de descargas atmosférica.

Una de las sobre tensiones de maniobra más severas se da en la reconexión en alta velocidad de líneas de transmisión trifásica. Para impulsos de maniobra, la frente de onda es mucho más lenta que en el impulso atmosférico, de este modo, los tiempos reales y virtuales prácticamente coinciden. Por esta razón, en impulso de maniobra es adoptada apenas la medición en tiempos reales [7].

En este ensayo debido a las dificultades, inherentes a la naturaleza de los transformadores, en lograr los tiempos especificados del impulso, son estipulados por norma las tolerancias entres los valores especificados y los valores realmente conseguidos, como indicados en la Tabla 3.

Tabla 3 – Parámetros estandarizados para ensayos de IM

PARÁMETRO	VALOR	TOLERANCIA	RANGO ADMISIBLE
Tensión de ensayo ( $U_e$ )	A ser especificado	$\pm 3\%$	A ser especificado
Tiempo hasta el pico ( $T_p$ )	250 $\mu s$	$\pm 20\%$	$200\mu s \leq T_1 \leq 300\mu s$
Tiempo de cola ( $T_2$ )	2500 $\mu s$	$\pm 60\%$	$1000\mu s \leq T_2 \leq 4000 \mu s$
Sobre elevación ( <i>overshoot</i> )	En relación a $V_e$	$\leq 10\%$	A ser especificado
<i>Overshoot</i> para $V > 2000$ kV	En relación a $V_e$	$\leq 20\%$	A ser especificado

En ciertos casos, por ejemplo con objetos de baja impedancia, puede resultar difícil ajustar la forma del impulso para quedar dentro de los valores de tolerancia recomendados. En estos casos, otras tolerancias u otras formas de onda pueden ser especificadas para un equipo en particular.

#### 4.0 - GARANTÍA DE LA CALIDAD DE RESULTADOS

La implementación de un Sistema de Garantía de la Calidad de los Resultados, debe envolver tanto el sistema de medición como de generación, especialmente en lo que respecta a instrumentos y equipos utilizados para los ensayos eléctricos más representativos. En la Figura 5 son indicados los principales componentes para los ensayos de soportabilidad a impulso, divididos en los sistemas de Generación y de Medición de Tensión, siendo 1: Generador de impulso, 2: conductor, 3: objeto bajo ensayo, 4: Conductor del divisor, 5: divisor de tensión, 6: cable de medición, 7: osciloscopio, 8: tierra. El sistema de medición debe ser aprobado, para lo cual la evaluación correspondiente debe ser realizada siempre con todos sus componentes conectados.

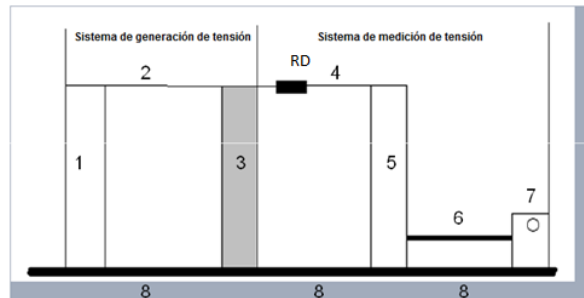
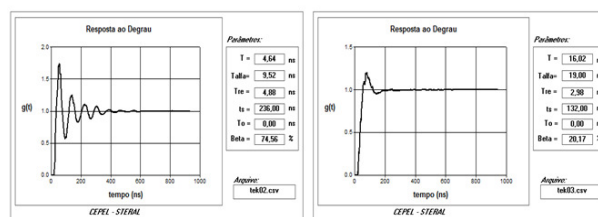


FIGURA 5. Diagrama esquemático para ensayos de impulso [10]

Cabe destacar que los ensayos deben ser realizados en la misma configuración, es decir, disposición física, equipos e instrumentos, tipos y longitud de los cables, etc, utilizada para la calibración del sistema de medición. En este caso en relación al componente RD, indicado en la Figura 5, se trata de un elemento resistor de amortiguamiento, el cual forma parte del divisor de tensión, y no debe bajo ningún aspecto ser sustituido o acompañado por otros elementos, acción tomada muchas veces en el afán de mejorar la forma de la onda aplicada, de tal forma que al ser colocados elementos no lineales como ser un filtro RL, altera las solicitaciones a ser aplicadas al transformador. Con la finalidad de ilustrar este hecho, fue simulada en laboratorio la respuesta relativa al impulso de ondas cuadradas con inclusión de un componente resistivo inductivo, en Figura 6-(b), y sin dicho componente como indicado en Figura 6-(a). La comparación de ambos comportamientos demuestra en qué medida este hecho podría enmascarar los resultados, con lo cual no sería posible detectar con claridad comportamientos oriundos de fallas incipientes o sutiles en el dieléctrico y por ende en el objeto sobre ensayo.



a.) SIN Componente RL en el Sistema de Medición

b.) CON Componente RL en el Sistema de Medición

FIGURA 6 - Desempeño dinámico – Respuesta relativa a un impulso [10].

Con la finalidad de enfatizar la importancia de la eficiencia del sistema de medición, fue simulado además en laboratorio el comportamiento dinámico del impulso de onda cuadrada, con un casamiento de impedancia, indicado en la Figura 7-(a) y sin el debido casamiento, en Figura 7-(b); con lo cual se demuestra la necesidad de un casamiento de impedancia perfecto para garantizar la calidad de los resultados de las mediciones sin enmascarar eventuales fallas en el objeto sobre ensayo.

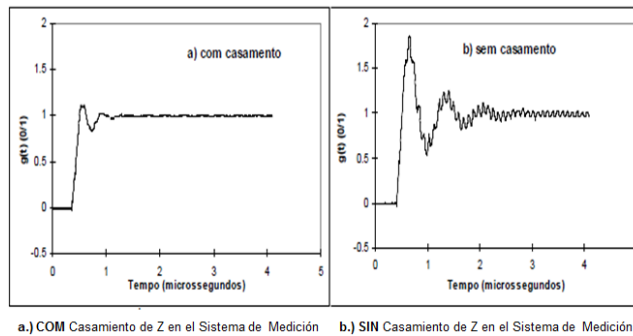


FIGURA 7- Desempeño dinámico – Respuesta relativa a un impulso [10]

En relación a la calibración de todos los equipamientos de medición y generación de impulsos, debe ser verificada la validez de los respectivos certificados. Sin embargo, la experiencia indica que generalmente los resistores shunt coaxial no son calibrados, pues la corriente de impulso que miden no tiene amplitud definida. Lo que realmente se debe verificar es que, con los mismos parámetros, estos resistores tipo shunt tengan repetitividad y reproductividad entre una medición y otra, condición fundamental para la garantía de la calidad de los resultados.

Se torna necesario además, realizar el nivel de interferencia en el sistema de transmisión y los instrumentos de medición de impulsos de tensión. Para tanto una descarga disruptiva debe ser aplicada al divisor de la tensión de ensayo, registrando las salidas en las condiciones de corto-circuito y circuito abierto. La señal interferente no podrá superar el 1% a aquella tensión de ensayo sin corto.

## 5.0 - CONCLUSIONES

Se puede concluir que con la revisión de la norma IEC 60060-1, al convertirse en la ABNT NBR IEC 60060-1, la cual cancela y sustituye a la ABNT NBR 6936:1992, la revisión de la IEC 60060-1, en vías de iniciarse, así como las exigencias impuestas por la norma ABNT\_NBR\_ISO/IEC17025, se está avanzando grandemente en el compromiso de garantizar una elevada confiabilidad de los transformadores aliado al desafío de los fabricantes, en mantenerse económicamente competitivos sin comprometer la calidad del equipamiento ofrecido al mercado.

A la luz de esta realidad, y como una medida adicional para garantizar la calidad de los resultados de los ensayos de recepción de transformadores de potencia, los autores proponen una actualización de las especificaciones técnicas que contemple:

- Una revisión en los procedimientos de los ensayos a ser realizados, la secuencia, 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 emergentes.
- 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.

## 6.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Velázquez, E.C; Díaz-Mora, N. *Actualización de las especificaciones técnicas de transformadores con base a la garantía de la calidad de resultados. XI SESEP – Décimo Primer Seminario del Sector Eléctrico Paraguay. Asunción, Paraguay, del 24 al 26 de setiembre de 2014.*
- (2) Velázquez, E.C; Díaz-Mora, N. *Avances en la aplicación de nuevos materiales en transformadores de potencia. In: XV Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ, 2013, Foz do Iguaçu-PR. Brasil.*
- (3) Velázquez, E. C; Díaz-Mora, N. *Diagnostico integrado de transformadores de potencia parte I: evaluacion del estado actual. In: XV Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ, Foz de Iguazú-PR, Brasil. 19 al 23 de mayo de 2013.*
- (4) *Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão. Parte 1: Definições gerais e requisitos de ensaio –ABNT NBR IEC 60060-1, 08.02.2013.*
- (5) *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems - IEC60060-2. Edition 3, 2010-11.*
- (6) *Requisitos gerais para as competências de ensaios e calibração - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 Versão Corrigida 2:2006.*

(7) Pradenas M, L. A. *Conceptos, criterios y recomendaciones para inspección durante el proceso de fabricación de grandes transformadores*. Sao Paulo-SP- Brasil, marzo 2015.

(8) *Transformadores de potencia – Especificação – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 5356*, 1993.

(9) Velázquez, E. C; Díaz-Mora, N. *Desempeño de aisladores pasantes y su efecto en el índice de fallas en transformadores de potencia*. In: XIII ERIAC - *Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré*, 2009, Puerto Iguazu. XIII ERIAC - *Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré*, 2009.

(10) Da Silva M.Th. F; De Azevedo L.C. *Metrologia e técnicas de medição em ensaios de alta tensão*. Centro de Pesquisas de Engenharia Elétrica - CEPEL, Rio de Janeiro – RJ – Brasil, 2014.

## 7.0 - DATOS BIOGRÁFICOS

### 7.1 Autor 1



Nombre: Eduardo Velázquez Castillo

Local y año de nacimiento: San Pedro de Ycuá Mandyyú – Paraguay – 1963

Graduado en Ingeniería Eléctrica por la Universidade de São Paulo –USP - EESC (1992),. Especialización en Automação e controle - *Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC* (2000). Maestría en Ingeniería Eléctrica - *Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC*(2003).

Presta servicios en la Central Hidroeléctrica de la Itaipu Binacional desde 1993, actualmente en la Superintendencia de Materiales en carácter de inspector de la calidad, con el cargo de Ingeniero Senior II.

### 7.2 Autor 2



Nombre: Nora Díaz Mora

Local y año de nacimiento: Boaco – Nicaragua – 1961

Es graduada en Ingeniería Química Industrial - Universidad Centroamericana UCA – Nicaragua (1985). Maestría en Ingeniería Química - *Universidade Federal de São Carlos - UFSCar-SP- Brasil* (1989) e doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais - *Universidade Federal de São Carlos - UFSCar-SP- Brasil* (1994). Atualmente é professora adjunta da Universidade Estadual do Oeste do Paraná -UNIOESTE. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais, com ênfase em vidros e cristalização, cerâmicas, corrosão e biodeterioração.