



Análisis de Fallas en Transformadores de Potencia tipos Secos y Propuesta de Ensayos Especiales para Evaluación de Condición

Armando Luis Ortiz Torres, Marco Aurelio Siqueira Mauro, Juan Carlos Henning, Nilton Ramos Quoirin

ITAIPU BINACIONAL

PARAGUAY

RESUMEN

Los Transformadores de Excitación Positiva son transformadores de potencia tipo seco y son equipos esenciales para la generación de energía en la ITAIPU BINACIONAL. La operación confiable de estos equipos está directamente relacionada con la disponibilidad de las Unidades Generadoras. Este trabajo presenta un análisis de fallas encontradas en los Transformadores de Excitación Positivas TEP, de las Unidades Generadoras de la ITAIPU BINACIONAL y consecuente propuesta de ensayos especiales para determinar la condición en que se encuentran estos equipos actualmente. Debido al tipo de proyecto de estos transformadores, tiempo y condiciones operativas, es posible que algunos equipos puedan estar llegando al final de su vida útil, teniendo en cuenta que existen equipos con mas de 28 años de operación y la literatura especializada del área indica que la vida útil de la aislación de transformadores a seco es alrededor de 20 años en promedio. Un indicio de esto son las fallas encontradas en las inspecciones del mantenimiento que indican problemas que deben ser investigados y solucionados a tiempo para evitar desconexiones forzosas, validando un estudio de evaluación de la condición de vida útil de estos transformadores. Los ensayos que son propuestos para esta evaluación son el Ensayo de Descargas Parciales (DP) y el Ensayo de Respuesta de Barredura en Frecuencia (SFRA). En el trabajo son ampliamente expuestos estos ensayos sugiriendo y validando técnicamente la aplicación de los mismos en transformadores de potencia a seco y consecuentemente propuestos para ser realizados en los Transformadores TEP de las Unidades Generadoras

PALABRAS CLAVES

Transformadores de Potencia tipo Seco, Análisis de Respuesta en Frecuencia, Descargas Parciales.



X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

1. CONSIDERACIONES INICIALES

Debido al tipo de proyecto, tiempo y condiciones operativas de los Transformadores de Excitación Positiva - TEP, de las unidades generadoras, es posible que algunos equipos puedan estar llegando al final de su vida útil, teniendo en cuenta que existen equipos con mas de 28 años de operación y la literatura especializada del área indica que la vida útil de la aislación de transformadores a seco desde que respetados límites de temperatura para cada clase es de 20 años [1]. Un indicio de esto son los defectos encontrados en las inspecciones del mantenimiento que indican problemas que deben ser investigados y solucionados a tiempo para evitar desconexiones forzosas, validando un estudio de evaluación de la condición de vida útil de estos transformadores.

Durante los periodos de mantenimiento preventivo de equipos eléctricos, deben ser realizados ensayos específicos con el objetivo de diagnosticar y estimar la posibilidad de que el equipo pueda permanecer en operación sin ninguna falla hasta la próxima parada para mantenimiento preventivo o quitarlo ya de operación si los resultados de estos ensayos no son satisfactorios. Tales procedimientos de evaluación requieren la detección de los fenómenos de degradación y la identificación de los defectos que causan la falla. Estos ensayos pueden ser destructivos y no destructivos. Los ensayos a ser propuestos en este trabajo son ensayos no destructivos.

El objetivo de este trabajo es analizar los defectos y fallas en los TEP de la Unidades Generadoras, proponer procedimientos y ensayos para la determinación de la condición de vida útil de los Transformadores de Excitación Positiva - TEP de las Unidades Generadoras y así posibilitar la toma de decisión antes de eventuales fallas en servicio de los transformadores.

2. DEFECTOS Y FALLAS EN TRANSFORMADORES TEPs

2.1. Histórico y Descripción de Defectos y Fallas Registradas en los TEPs

Los ensayos que son realizados en los mantenimientos periódicos en los transformadores TEP son ensayos convencionales como Medición de la Resistencia de Aislación, Medición de la Resistencia Ohmica de los devanados y Medición de la Relación de Transformación. Estos ensayos son muy importantes y ya sirvieron como subsidio para la sustitución de algunos equipos que indicaban fallas incipientes, entretanto estos ensayos muchas veces no son conclusivos para la evaluación de la vida útil del transformador ya que ilustran apenas una situación momentánea de la condición del los equipos, y no necesariamente dan características de evolución de un defecto o falla interna.

Otro procedimiento de inspección del mantenimiento que resulta muy eficaz para detectar defectos en los equipos es la inspección visual de los transformadores. Una prueba de esto son las fisuras detectadas en los devanados durante estas inspecciones, como lustrados en la tabla 1. Estas fisuras indican que posiblemente la rigidez mecánica de la resina de los devanados está degradada, ya sea por esfuerzos térmicos o mecánicos consecuentes del tiempo de operación de los transformadores. Es importante recalcar que estos equipos alimentan el Sistema de Excitación de las Unidades Generadoras, alimentando cargas no lineales que producen armónicos que aumentan los esfuerzos mecánicos y térmicos.






X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Mientras estas fisuras no afecten a los conductores de los devanados (corto circuito entre espiras) no se esperan mayores inconvenientes, entretanto, con los ensayos convencionales realizados no es posible detectar de forma temprana esa posible condición de falla.

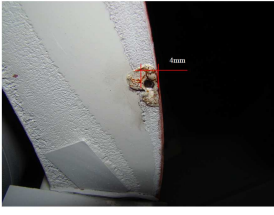
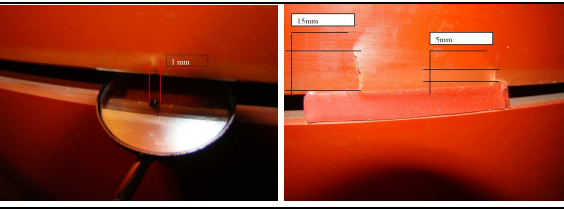


La falla del transformador TEP 18A -fase C, registrada en julio de 2012, en el que un corto circuito en el devanado secundario provocó la salida del transformador de operación, es un ejemplo que los ensayos convencionales, realizados en los mantenimientos preventivos anteriores a la fecha del siniestro del equipo, no detectaron la falla en un estado inicial.

En este sentido, son propuestos ensayos especiales descritos a seguir, a ser realizados en los transformadores TEP durante los mantenimientos preventivos, con la finalidad de evaluar la condición de la aislación e impedancia de los devanados de los transformadores para la detección de defectos y fallas en estados iniciales.

Tabla I - Histórico y Descripción de Fallas Registradas en los TEP

SSA	Descripción del Defecto o Falla	Figura
2010-09220A	TEP 03 fase T Fisura de aproximadamente 284mm en la resina del devanado de Alta Tensión, parte externa en sentido axial.	
2011-09583A	TEP 08 fase T Fisuras de aproximadamente 60mm de largo por 15mm de ancho en aislación de bobinado de alta tensión lado br parte superior.	
2011-12734A	TEP 15 fase A 2 Fisuras en el devanado de Alta Tensión	
2012-00973A	TEP 10 fase B Fisuras en los calces entre bobinas (H y x), en ambas bobinas, lado H1 y H2	
2012-00976A	TEP 10 fase C Fisuras en el calce entre bobinas(H y x), en la bobina lado H1	

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

2012-02999A	<p>TEP 18A fase A</p> <p>Perforación de 4mm de diámetro, de la bobina inferior derecha, lado de Alta Tensión</p>	
2012-03001A	<p>TEP 18A fase C</p> <p>Perforación en la bobina superior derecha lado de Alta Tensión y 2 fisuras superficiales en la bobina de Alta Tensión del lado superior izquierdo.</p>	
2012-03750A	<p>TEP 18 fase B</p> <p>Fisura en el devanado de AT del transformador</p>	
201208156A	<p>TEP 18 fase C</p> <p>07/2012-Falla en el devanado de Baja Tensión del Transformador</p>	

3. ENSAYOS PROPUESTOS

Consideramos que los defectos más probables que ocurran en transformadores tipo seco son las descargas parciales y el corto circuito entre espiras, que son defectos que indefectiblemente causarán la falla del equipo. En este sentido, a seguir serán descritos ensayos especiales que son propuestos para ser realizados en los transformadores TEP instalados en la Central de ITAIPU para la detección precoz de estos defectos.

3.1. Análisis de la Respuesta en Frecuencia

De acuerdo con la teoría de control, el comportamiento de un sistema lineal, invariante en el tiempo, de una entrada y una salida (SISO) y estable, puede ser descrito por su respuesta al impulso, o por su función de transferencia. En este sentido, el sistema puede ser caracterizado a través del análisis del comportamiento de la respuesta a una señal de excitación de entrada. Esta metodología es conocida como Análisis de la Respuesta en Frecuencia (FRA). Según literatura especializada, este método está siendo bastante utilizado en el campo de diagnóstico de transformadores de potencia por los buenos resultados encontrados en las investigaciones realizadas. El FRA es una metodología de diagnóstico que puede ser utilizada en el estudio de defectos lineales en el interior de un transformador, o sea, defectos que mantengan las características de linealidad del equipo, como por ejemplo, cambios mecánicos y eléctricos que varían la distribución interna de capacitancias e inductancias, y, consecuentemente la respuesta en frecuencia del transformador [2].

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

El ensayo de respuesta en frecuencia consiste en la medición de la impedancia o admitancia y/o magnitudes de tensión de devanados de transformadores en una gran faja de frecuencias, generalmente comprendidas entre 10Hz y 3MHz. Las mediciones realizadas en transformadores en buen estado, suministran un diagrama de respuesta en frecuencia de referencia (impresión digital). Obtener esta impresión digital de los equipos es sumamente importante ya que es con ella lo que serán comparadas las mediciones de respuesta en frecuencia (RF) realizadas posterior a la ocurrencia de algún evento sospechoso que pueda haber dañado al transformador. Es muy importante que ambas mediciones (antes y posterior a la falla) sean realizadas con las mismas condiciones operativas (posición de tap y con los mismos accesorios) [2].

Si la impresión digital del transformador en análisis no se encontrara disponible, se pueden realizar comparaciones entre fases de un transformador trifásico, desde que se tengan en cuenta consideraciones específicas para este caso, que no es objeto de este estudio. Para el caso específico de los transformadores tipo seco instalados en la ITAIPU, si no se tiene la impresión digital del equipo, se pueden comparar entre transformadores de mismas características constructivas, ya que están instalados en bancos monofásicos [2].

Para la realización del ensayo de respuesta en frecuencia, una señal de excitación de frecuencia variable es aplicada y medida en la entrada del devanado a ser analizado, la señal de salida del devanado en análisis es medido y así la función de transferencia es calculada. Existen dos abordajes para inyectar la señal de excitación necesaria para realizar el FRA, el Método de la Respuesta al Impulso (IRM) y el Método de la Respuesta de Barredura en Frecuencia (SFRA) [2].

Entre los posibles defectos que se puedan encontrar en los TEP de la ITAIPU, el corto circuito entre espiras es el de mayor probabilidad de ocurrencia, debido a las características de estos transformadores. En este sentido, como ilustrado en la Tabla 2, este defecto es detectable por el ensayo de SFRA ya que estos defectos hacen variar la respuesta en frecuencia del equipo.

Tabla 2: Detectabilidad de defectos en Transformadores de Potencia con la SFRA [2]

Naturaleza del Defecto	Detectabilidad
Núcleo no puesto a tierra	No detectable
Pérdida de Presión de torque de los devanados	Usualmente no Detectable
Puesta a tierra múltiple del núcleo	Usualmente no Detectable
Envejecimiento normal	Detectable (si es muy severo)
Daños mecánicos en el núcleo	Detectable (si es muy severo)
Corto circuito entre espiras	Detectable
Daños Mecánicos en los devanados	Detectable
Espiras flojas	Detectable

3.1.1. Circuitos para Ensayos y Conexiones

Para los procedimientos de ensayo de SFRA y para el diagnóstico de los resultados aun no existe una norma oficial elaborada por organizaciones de ingeniería mundialmente reconocidas. Lo que está disponible para la comunidad científica internacional es una Orientación 342 del grupo de trabajos A2.26 del CIGRE denominado Mechanical-Condition Assessment of Transformer Windings Using Frequency Response Analysis (FRA).

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Para realizar mediciones de FRA, una señal de tensión (Senoidal en Barredura de Frecuencia o Señal de Impulso) es aplicada a un terminal del transformador con respecto a la tierra. La señal de tensión medida en el terminal de entrada es la señal de referencia para el cálculo de la respuesta en frecuencia. Un segundo parámetro (señal de respuesta) es por lo general la señal de tensión tomada a través de la impedancia de medición conectada a otro terminal del mismo transformador con referencia a tierra (puede también ser una corriente medida entre el terminal de entrada o a algún otro terminal puesto a tierra). La amplitud de respuesta en frecuencia es la relación entre la señal de respuesta (V_r) y la señal de entrada de la fuente (V_s) en función de la frecuencia (generalmente ilustrada en decibeles (dB))

Una peculiaridad de los transformadores TEP y TAU instalados en la central es que tienen los devanados de alta tensión y los de baja tensión separados en dos partes iguales y conectados internamente, siendo posible su separación momentánea para la comparación de un sub-devanado con otro en caso de sospecha de daño en uno de ellos. La Figura 1 a seguir ilustra lo explicado.

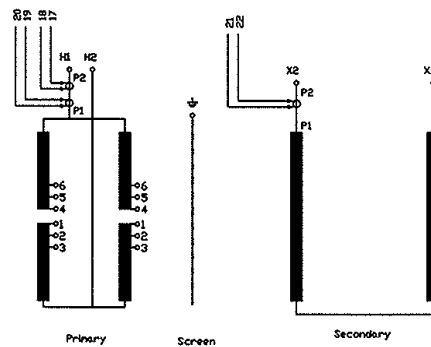


Figura 1 - Diagrama de Devanados de los TEP de la ITAIPU

Los circuitos de ensayos y conexiones para los transformadores TEP y TAU de la ITAIPU son adaptaciones para transformadores monofásicos con referencia en [2]. La propuesta de este trabajo es que ambos devanados parciales de alta y baja tensión deberán ser ensayados separadamente y posteriormente juntos conforme las figuras a seguir. Los puntos ref1 y ref2 en las figuras son solamente esquemáticos, siendo accesibles solamente en el interior de los transformadores. Los esquemas de circuitos y cantidad mínima de mediciones son ilustrados a seguir.

a) **Conexión terminal a terminal - 6 mediciones propuestas.**

Para el ensayo en la configuración terminal a terminal (o terminal a terminal abierto), la señal de tensión es aplicada en un terminal del devanado en análisis y la señal de respuesta es medida en el otro terminal de la misma bobina. La impedancia de magnetización del transformador es el principal parámetro de caracterización en la región de las bajas frecuencias (por debajo de la primera resonancia) utilizando esta configuración. Esta configuración es la más frecuentemente utilizada debido a la simplicidad y posibilidad de examinar cada devanado separadamente. La Figura 2 ilustra resultados de mediciones en la configuración terminal a terminal para un transformador de 266 MVA, 420 / 21 kV [3]

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

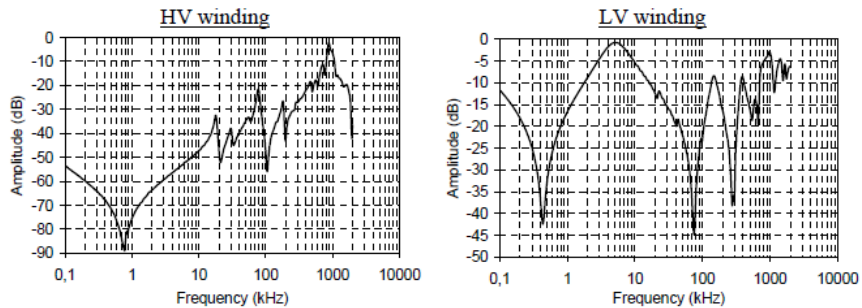


Figura 2– Mediciones de FRA en la configuración *terminal a terminal*. (Transf. 266 MVA, 420/ 21 kV)

En ensayo en la configuración terminal a terminal puede ser realizado con la fuente de señal aplicada en el terminal de fase o de neutro indistintamente. Pero una vez elegida la configuración, esta debe ser mantenida a partir de ahí para los siguientes ensayos ya que pueden influenciar en los resultados [2]. Considerando la peculiaridad de los TEP's de la ITAIPU que tienen dos devanados internamente interconectados para cada clase de tensión, la Figura 3 ilustra las configuraciones propuestas para las mediciones de FRA para estos equipos. Como se puede observar, son 6 diferentes tipos de configuraciones para mediciones en los devanados de los transformadores.

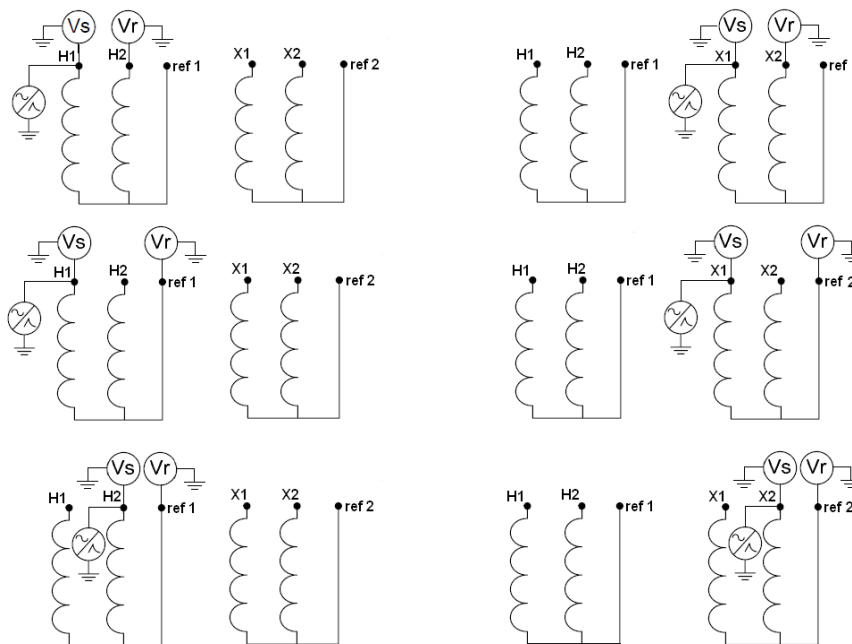


Figura 3– Configuración *terminal a terminal* - propuesta para mediciones de FRA

b) Conexión *terminal a terminal en corto circuito* - 3 mediciones propuestas.

Esta configuración es similar a la configuración anterior, pero con el devanado de la misma fase en corto circuito. Estas mediciones permiten observar la influencia del núcleo, por debajo de los 10-20 kHz, debido a que la respuesta en bajas frecuencias en este caso es caracterizada por la reactancia de dispersión en vez de la inductancia de magnetización. Las respuestas en altas

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

frecuencias para la configuración terminal a terminal en corto circuito son similares a las obtenidas en la configuración terminal a terminal abierto, como observado en la Figura 4. [3]

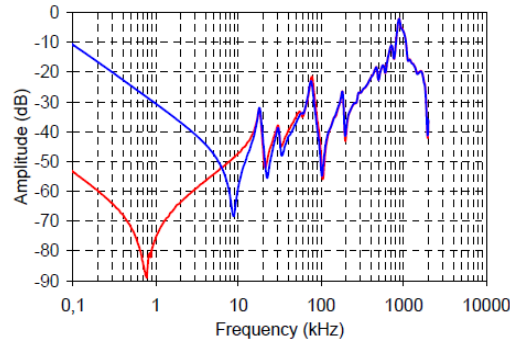


Figura 4: Comparación de las configuraciones *terminal a terminal 'abierto'* (rojo) y *'en corto circuito'* (azul) (Transf. 266 MVA, 420/21 kV).

Los devanados en corto circuito pueden estar flotando o puestos a tierra. Además, la configuración terminal a terminal en corto circuito se puede realizar con la fuente aplicada en el terminal de fase o de neutro. Este ensayo de FRA se puede hacer si hay un interés en obtener información relacionada con la impedancia de dispersión a baja frecuencia en el transformador, o para eliminar alguna duda relacionada con el análisis de la influencia del núcleo en las mediciones cuando hay presencia de magnetismo residual. La Figura 5 ilustra la configuración terminal a terminal en corto circuito propuestas para las mediciones de FRA para estos equipos. Como se puede observar, son 3 diferentes tipos de configuraciones para mediciones en los devanados de los transformadores.

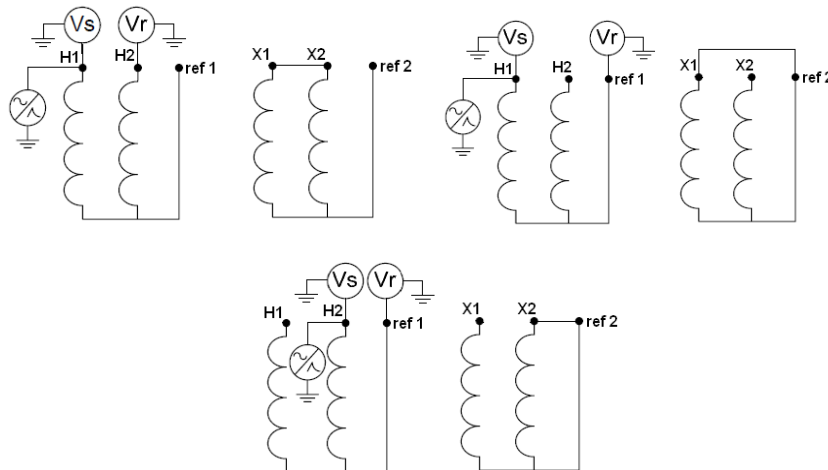


Figura 5 - Configuración *terminal a terminal en corto circuito* propuesta para mediciones de FRA

c) Conexión Capacitiva entre Devanados - 1 medición propuesta.

La señal de tensión es aplicada en un terminal del devanado en análisis y la respuesta es medida en un terminal de otro devanado de la misma fase (no conectado al primero). La respuesta en frecuencia utilizando esta configuración es dominada en la región de bajas frecuencias por la

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

capacitancia entre devanados de Alta y Baja Tensión. La Figura 6 ilustra un ejemplo de resultado de medición de FRA para la configuración Capacitiva entre Devanados. [3]

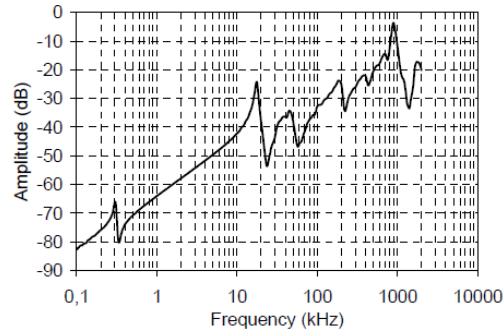


Figura 6: Ejemplo de configuración *Capacitiva entre Devanados* de Alta y Baja tensión (Transf. 266 MVA, 420/21 kV).

La Figura 7 ilustra la configuración Capacitiva entre Devanados propuesta para la medición de FRA para estos equipos. Como se puede observar, hay una configuración propuesta para mediciones en los devanados de los transformadores TEP.

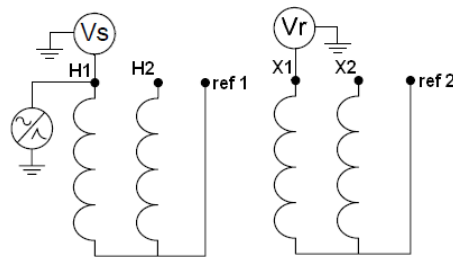


Figura 7 - Configuración *Capacitiva entre Devanados* propuesta para mediciones de FRA

d) Configuración *Inductiva entre Devanados* - 3 mediciones propuestas.

Para esta configuración la señal de tensión es aplicada en el terminal del devanado de alta tensión, y la respuesta es medida en el correspondiente terminal del devanado de baja tensión, con los otros terminales en corto circuito. La respuesta en bajas frecuencias para esta configuración es determinada por la relación de transformación de los devanados. La Figura 8 muestra un ejemplo de resultado de FRA para la Configuración Inductiva entre Devanados de Alta y Baja tensión. [3]

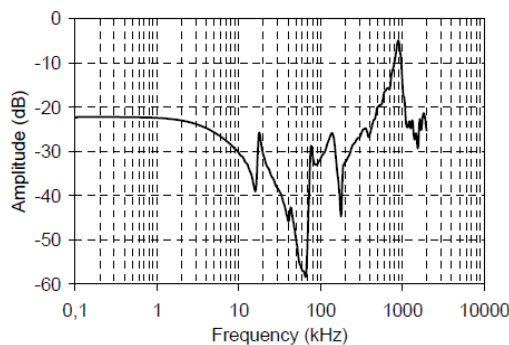


Figura 8: Ejemplo de Configuración *Inductiva entre Devanados* de Alta y Baja tensión (Transf. 266 MVA, 420/21 kV).

La Figura 9 ilustra la configuración *Inductiva entre Devanados* propuesta para la medición de FRA para estos equipos. Como se puede observar, hay 3 configuraciones propuestas para mediciones en los devanados de los transformadores TEP.

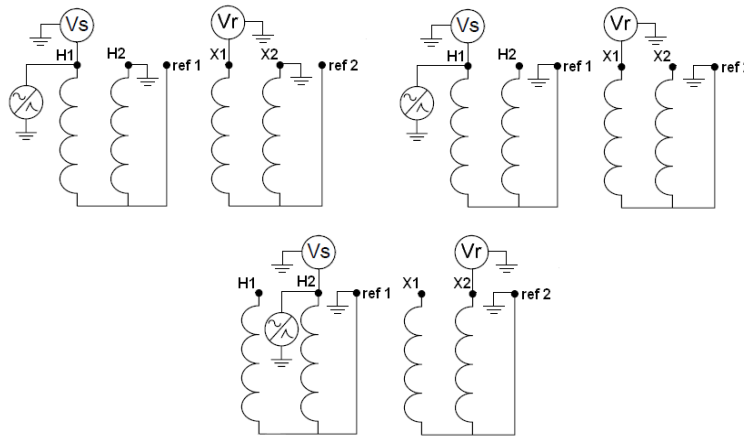


Figura 9 - Configuración *Inductiva entre Devanados* propuesta para mediciones de FRA

3.2. Descargas Parciales

El ensayo de descargas parciales es un ensayo no destructivo cuya finalidad es medir el nivel de descargas parciales en un determinado equipo a una dada tensión, donde pueden existir diversos tipos de aislaciones envueltas (sólido, líquido, gaseoso). De una manera general, el nivel de descarga parcial medido debe estar por debajo de un valor prefijado por norma de acuerdo al tipo de equipo en ensayo. El fenómeno de las descargas parciales ocurre en cavidades de constante dieléctrica diferente de la del material que la rodea. Cuando sometemos este material a un campo eléctrico, este se distribuye por el material, sometiendo la cavidad a un gradiente de tensión en exceso al gradiente máximo soportable por la cavidad. Este fenómeno dará origen a pequeñas descargas disruptivas en el interior de la cavidad, acarreado en un proceso temporal de deterioro progresivo del material y eventualmente hasta la falla del equipo. En este sentido, es importante la detección de las descargas parciales en transformadores tipo seco como herramienta de control de calidad no destructivo [5].

La medida del nivel de descargas parciales tiene como objetivo la estimación de la vida útil probable de los elementos y/o equipos de alta tensión en lo que se refiere a su aislamiento. La comparación del valor obtenido con las anteriores mediciones en las mismas condiciones de ensayo, indican la tendencia del aislamiento (estabilidad, empeoramiento, degradación). Para un adecuado control y/o vigilancia del estado de un aislamiento, es pues conveniente repetir la medición del nivel de descargas parciales, en intervalos de tiempo, que en cada caso pueden determinarse en función de los resultados de la comparación y/o análisis de los valores obtenidos [6].

A pesar de que las técnicas actuales de medición de las descargas parciales no proporcionan parámetros cuantitativos de la vida útil esperada, aportan datos cualitativos muy útiles sobre el estado de los aislamientos, que permiten la detección precoz de eventuales fallos o puntos

débiles. Ahora bien, para la evaluación de la calidad o del estado de un aislamiento, tanto o más importante que el valor medido es su variación en el tiempo, es decir, su evolución temporal [6].

3.3. Circuitos de Medición y Ensayos de Descargas Parciales

Los circuitos utilizados para medir Descargas Parciales (DPs) pueden ser deducidos de acuerdo a indicaciones de la norma IEC 60270 (Figuras 10a, 10b y 10c). En ella se indican tres circuitos básicos de medición de DPs. Todos ellos están basados en la detección de una caída de tensión sobre una impedancia de medición, provocada por impulsos de corriente en el circuito exterior [7].

La impedancia de medición Z_m está constituida normalmente en un resistor, un inductor de algunos mH para disipar las corrientes en la frecuencia industrial y una capacitancia parásita inherente al circuito [8].

De acuerdo con las normas internacionales la medición de carga es definida en pico Coulomb (pC). Los equipos de medición de DPs realizan una integración de las corrientes y en la mayoría de los casos funcionan basadas en la semi integración de valores, por medio de amplificadores de banda ancha y banda estrecha [8].

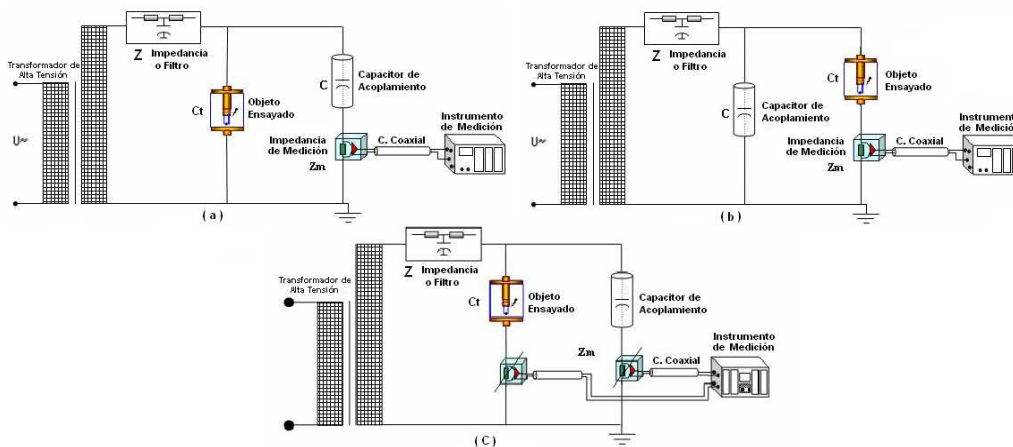


Figura 10 – Circuitos básicos de medición de DPs. a) Impedancia Z de medición en serie con el capacitor C de acoplamiento. b) Impedancia de medición Z_m en serie con el equipo en ensayo. c) Circuito de ensayo equilibrado o balanceado.

Los circuitos de las figuras 10a y 10b tienen configuraciones de medición directa y rápida de DPs, entretanto presentan desventajas siendo sensibles a interferencias, inclusive de bajas frecuencias. El circuito de medición en puente ilustrado por la figura 10c suprime gran parte de las interferencias, pero la dificultad está en la calibración y en el balance y sincronización del equipo de medición tipo puente.

El circuito de medición correspondiente al de la figura 10a es utilizado en los casos en que el objeto en ensayo posea una extremidad puesta a tierra. Este tipo de configuración protege el equipo de medición de fallas provenientes del objeto en ensayo. Entretanto el circuito de la figura 10b, con la impedancia de medición en serie con el objeto en ensayo posee una mayor sensibilidad de medición. Este tipo de configuración es utilizado en los casos en que el lado de baja tensión del objeto en ensayo queda aislado del referencial de tierra. El circuito de medición

de la figura 10c tiene el lado de baja tensión del objeto en ensayo y del capacitor de acoplamiento aislado del referencial de tierra a través de las impedancias de medición Z_m y Z_m' . Este circuito presenta ventajas en lo referente a los problemas de interferencias externas [8].

El circuito más utilizado y el propuesto para ser aplicados en los transformadores TEPs de la ITAIPU para mediciones de DPs es el de la figura 10a, en este caso el capacitor de acoplamiento evita que la tensión en la frecuencia industrial pase para la impedancia de medición, pasando a constituirse un camino preferencial para los pulsos de las corrientes correspondientes a las DPs. Debe quedar claro que la elección del tipo de circuito de medición debe estar asociada a las características eléctricas del equipo a ser ensayado.

4. CONCLUSIONES

Fue presentado un análisis de los defectos y fallas ocurridos en los Transformadores de Excitación Positiva de la ITAIPU. Fue constatado que los ensayos convencionales realizados durante los mantenimientos preventivos de estos equipos no garantizan la detección de fallas incipientes, por los que fueron propuestos y expuestos ensayos especiales para la evaluación de la condición de vida útil de estos equipos. La viabilidad técnica para la aplicación de los ensayos fue demostrada en el trabajo, dependiendo únicamente de la adquisición de los sistemas de medición para realizarlos.

Bibliografía

- [1] IEEE Std C57.96-1999, IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers.
- [2] ORTIZ TORRES ARMANDO, *Diagnóstico de Transformadores de Potência Através da Análise da Resposta em Freqüência*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — LABSPOT, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- [3] CIGRE, WG A2.26 Brochure 342. *Mechanical Condition Assessment of Transformer Windings Using Frequency Response Analysis (FRA)*. April 2008.
- [4] ILHAN SUAT, OZDEMIR AYDOGAN, *Partial Discharge Amplitude Distribution for the Evaluation of Insulation Ageing*. Disponible en www.emo.org.tr/ekler/2b8a85a29b2d64a_ek.pdf. Accedido en 29/06/2012.
- [5] TEIXEIRA, José. *Medição de Descargas Parciais*. Disponible en www.eletrica.ufpr.br/piazza/ensaios/meddp1.pdf. Accedido en 29/06/2012.
- [6] CAPELLA ROBERT, *Medición del Nivel de Descargas Parciales*, Publicación Técnica Schneider: PT-069, 2000.
- [7] IEC 60270, *High-Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements*, Third Edition, 2000.
- [8] HUAMAN WALTER MARTÍN, *Caracterização dos Sinais de Descargas Parciais em Equipamentos de Alta Tensão a partir de Modelos Experimentais*, Tese, (Doutorado em Engenharia Elétrica), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.