

Evaluación del aislamiento eléctrico mediante análisis de la respuesta en frecuencia con la aplicación de impulsos de alto voltaje

Juan Ramírez^a, Víctor Tibanlombo^a, María Fernanda Trujillo^b, Edison Novoa^a, Miguel Argoti^c

^aDepartamento de Energía Eléctrica/ Escuela Politécnica Nacional

^bDepartamento de Ingeniería Mecánica/ Escuela Politécnica Nacional

^cDepartamento de Automatización y Control Industrial/ Escuela Politécnica Nacional

juan.ramirez@d@epn.edu.ec, victor.tibanlombo@epn.edu.ec, maria.trujillo03@epn.edu.ec,
edison.novoa@epn.edu.ec, miguel.argoti@epn.edu.ec

Resumen— En este documento se presenta una metodología para evaluar el estado del aislamiento eléctrico de los materiales dieléctricos con una variación de los métodos de respuesta en frecuencia FRA. Se utilizaron aisladores de cerámica como objetos de prueba. El método consistió en la aplicación de un impulso de alto voltaje a los diferentes materiales y la medición de la corriente de fuga en ellos, posteriormente se procesaron esas mediciones para obtener la admitancia del material en el dominio del tiempo y luego en el dominio de la frecuencia usando la Transformada Rápida de Fourier FFT. Las gráficas obtenidas en el dominio de la frecuencia se comparan en diferentes grados de alteración de las propiedades de los materiales aislantes como: contaminación y precipitación acuosa en forma de gotas en relación con los objetos de prueba bajo condiciones ideales. Se obtienen como resultados un juego de curvas en el dominio de la frecuencia para cada material en donde se evidencia el cambio en el estado del aislamiento eléctrico.

Palabras Claves— aislamientos eléctricos, respuesta en frecuencia SFRA, IFRA, Transformada Rápida de Fourier, impulsos de alto voltaje, evaluación del aislamiento

Abstract— This document presents a methodology for evaluating the electrical insulation status of the dielectric materials with a variation of FRA frequency response methods. Ceramic insulators were used as test objects. The method consisted in the application of a high voltage impulse to the different materials and the measurement of the leakage current in them, later these measurements were processed to obtain the admittance of the material in the time domain and then in the domain of the frequency using the Fast Fourier Transform FFT. The graphs obtained in the frequency domain are compared in different degrees of alteration of the properties of the insulating materials such as: contamination and aqueous precipitation in the form of drops in relation to the test objects under ideal conditions. A set of curves in the frequency domain for each material is obtained as a result where the change in the electrical insulation status is evidenced.

Keywords— electrical insulation, frequency response SFRA, IFRA, Fast Fourier Transform, high voltage pulses, insulation evaluation

I. INTRODUCCIÓN

El estado del aislamiento eléctrico de los diferentes materiales usados en la ingeniería eléctrica en alto voltaje es de gran importancia pues indica posibles deficiencias en un material que se ha degradado con el uso y el tiempo [1], por lo que reconocer cuando dicho material está deteriorado desde el punto de vista eléctrico permite tomar decisiones de mantenimiento correctivo y preventivo para incrementar la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico [1].

Existen diferentes métodos para evaluar el estado del aislamiento eléctrico, entre los cuales existen aquellos que se basan en la obtención de la respuesta o función de transferencia de un material analizada en el dominio de la frecuencia [2], estos métodos conocidos como *Frequency Response Analysis* (FRA) se clasifican a la vez en métodos de respuesta de frecuencia de impulsos IFRA, y métodos por el barrido de respuesta de frecuencia SFRA [2].

Los métodos IFRA utilizan impulsos de bajo voltaje y de frecuencias variables que se aplican con equipos especializados [2]. Otros autores como [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] han demostrado que se pueden aplicar los mismos conceptos del análisis IFRA mediante la aplicación de altos voltajes de impulso para estudiar el estado de los transformadores y del aislamiento en *bushings* y papel impregnado en aceite.

En este documento se describe como se ha aplicado y adaptado la metodología presentada en [4] [5] [6] [7] [8] [9] para evaluar el estado de diferentes aislamientos eléctricos utilizando el generador de impulsos del Laboratorio de Alto Voltaje de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

En la sección II de este documento se presentan los conceptos relevantes a los métodos de análisis FRA, en la sección III se presenta la metodología utilizada, los resultados obtenidos se mencionan en la sección IV, finalmente la sección V muestra las conclusiones y comentarios de este trabajo.

II. MARCO TEÓRICO

Los métodos FRA consideran que la respuesta a una perturbación eléctrica de un material es función de las propiedades intrínsecas del aislamiento eléctrico [2], por lo

que la respuesta obtenida es una especie de huella digital del material que cambia conforme sus propiedades físicas lo hacen [3] [4].

El criterio de evaluación del estado del aislamiento y de otras propiedades del material consiste en comparar las respuestas en frecuencia bajo diferentes condiciones [10], estas condiciones que han cambiado con el tiempo pueden deberse a deterioro del material y afecciones mecánicas (por ejemplo : golpes o bobinas que se deforman en el transporte de transformadores), entonces, si se tienen las respuestas en frecuencia en diferentes condiciones en el tiempo se puede ver cómo ha evolucionado el estado del material e inferir cualitativamente su condición (mejor o peor) [2] [4] [10].

En la Fig. 1 se observa un ejemplo de respuesta en frecuencia de un transformador eléctrico SFRA en cuatro modos diferentes para la representación de la función de transferencia. Se usan todas las combinaciones de escalas lineal y logarítmica. De acuerdo con el modo de ilustración utilizado se puede lograr diferentes aspectos visuales para la representación de las curvas. La selección del mejor modo de presentación es esencial, ya que la interpretación generalmente se basa en una evaluación puramente visual de las curvas FRA [11].

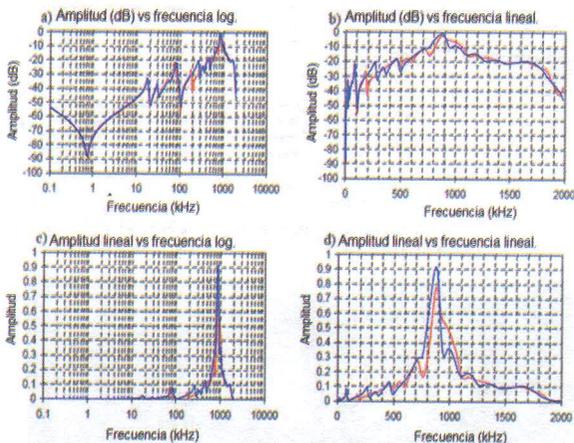


Figura 1. Tipos de ilustración de curvas SFRA [11].

El método de evaluación del aislamiento eléctrico mediante respuesta en frecuencia ha sido estudiado bajo diferentes perspectivas, como en [12], donde el autor muestra que en un aislamiento deteriorado durante 28 días se observa un aumento en la capacitancia del material, esto se aprecia en la Fig. 2.

La autora en [5] utiliza impulsos de alto voltaje para obtener la tangente de delta del material en función de la frecuencia para observar cómo esta aumenta indicando que el aislamiento se ha deteriorado bajo diferentes condiciones, estos resultados están dados en la Fig. 3.

La obtención de la respuesta en frecuencia del material se realiza aplicando una señal de voltaje de frecuencia variable y midiendo los voltajes o corrientes que circulan en el material o equipo bajo evaluación [4] [5] [6] [7] [8] [9], la relación entre las mediciones de salida y entrada permiten obtener la función de transferencia del material que es una función de sus propiedades electromecánicas, por lo que esta respuesta es representativa para cada material.

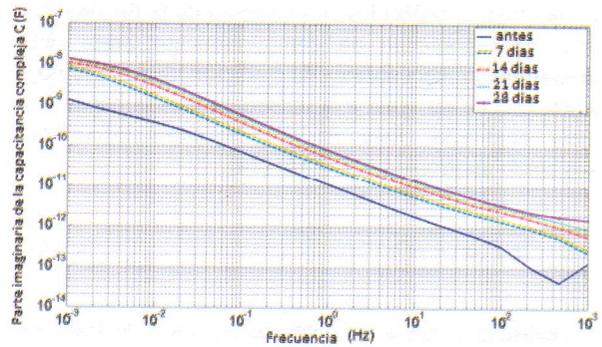


Figura 2. Cambio en la capacitancia obtenido a través de una prueba FRA [12].

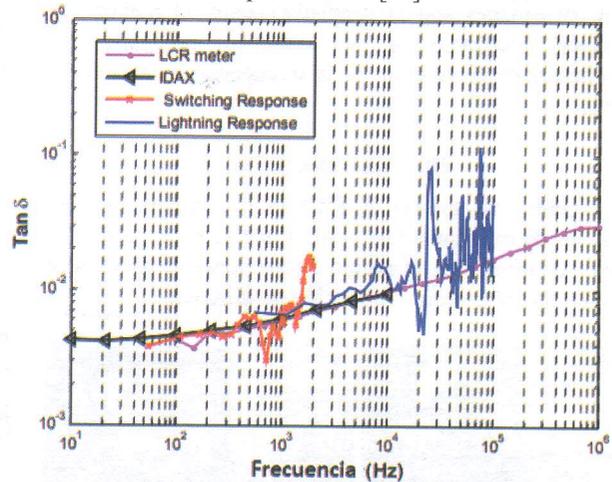


Figura 3. Tangente de pérdidas obtenido a través de una prueba FRA [5].

La capacitancia aproximada del aislamiento se puede determinar con (1). El porcentaje de cambio de capacitancia se puede calcular con la ecuación (2). La aplicación de esta ecuación solo considera la capacitancia real ya que la capacitancia imaginaria solo afecta la magnitud de la resonancia y no la frecuencia [12].

$$I(\omega) = j\omega(C' - jC'') \quad (1)$$

$$\Delta C\% = \left(\frac{C_2}{C_1} - 1\right) \cdot 100 = \left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - 1\right) \cdot 100 \quad (2)$$

La función de transferencia medida con instrumentos adecuados está en función del tiempo y no permite observar de manera adecuada los cambios en cada condición de evaluación, por lo que se recurre a la conversión de la señal al dominio de la frecuencia utilizando la Transformada Rápida de Fourier FFT con un algoritmo predefinido en MATLAB dado en (3) [13].

$$Y(k) = \sum_{n=1}^N x(n)e^{-2\pi i(k-1)(n-1)/N}, 1 \leq k \leq N \quad (3)$$

El problema del ruido impuesto sobre las cantidades medidas ha sido extensamente estudiado en varios campos, y los métodos de procesamiento de señal exitosos para evaluar la influencia del ruido. La función coherencia permite establecer un límite de frecuencia, que se puede considerar veraz a la respuesta obtenida, antes de ser afectado por el ruido [14].

La función coherencia se deriva de todos los registros del dominio del tiempo utilizados en el cálculo de la función de transferencia. Suponiendo un comportamiento lineal del sistema examinado, y un sistema de medición ideal sin ruido, la coherencia debe ser igual a la unidad en toda la banda de frecuencia analizada. Esta se calcula entre diferentes impulsos como un promedio, con (4) [14].

$$Cf = \frac{|G_{xy}|^2}{G_{xx}G_{yy}} \quad (4)$$

G_{xy} : Densidad cruzada de potencia espectral de las dos señales a comparar.

G_{xx} y G_{yy} : Densidad espectral de cada señal.

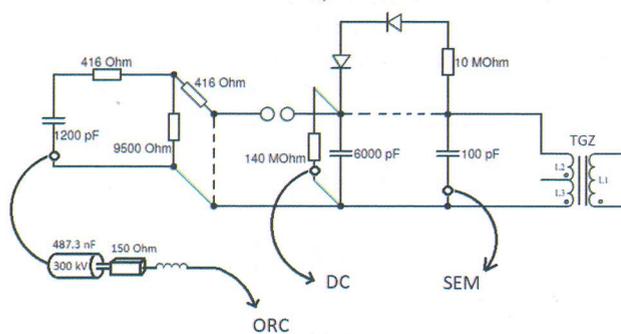
Estas densidades son promediadas según el número de mediciones realizadas y se obtienen mediante las transformadas en el dominio de la frecuencia de las señales medidas.

III. METODOLOGÍA

El principio de análisis de FRA es la comparación con mediciones de referencia [10], por lo que se necesita de una condición de referencia en cuanto a conexiones de pruebas ya que facilita la aplicación y repetición de pruebas.



a)



b)

Figura 4. Generador de impulsos: a) Setup existente. B) diagrama con elementos de medición. Laboratorio de Alto Voltaje EPN. TGZ: Transformador elevador TGZ 220 V /100 kV. 60 Hz. ORC: Conexión al osciloscopio de rayos catódicos para medición del voltaje de impulso atmosférico estándar 1.2/50 μ s mediante divisor capacitivo. DC: Kilovoltímetro de corriente directa. SEM: Kilovoltímetro de corriente alterna.

La metodología propuesta en este documento consiste en una adaptación de las fuentes bibliográficas descritas en la Sección II. Se utilizó el generador de impulsos de Alto Voltaje de la EPN mostrado en la Fig.4, para obtener resultados del estado de aislamiento en la que se encuentra cada material. Se aplican impulsos atmosféricos estándar 1.2/50 μ s [15], para que la inyección de una onda no periódica

de un determinado ancho de banda (respuesta al impulso) que excite al sistema (aislante), y se mide la corriente de fuga en el aislamiento para la obtención de la respuesta en frecuencia del aislador mediante la medición de las señales en el dominio del tiempo con el osciloscopio del laboratorio.

Posteriormente la Transformada Rápida de Fourier es aplicada a las señales muestreadas para obtener las gráficas en el dominio de la frecuencia de la respuesta del aislante utilizando un algoritmo en MATLAB dado en (3).

Se utilizó un aislador cerámico tipo ANSI C-55-5 con características de la Fig. 5. La respuesta en frecuencia del aislador se obtendrá para tres estados representativos, aislador seco (estado ideal), aislador mojado Fig. 6, y aislador contaminado Fig. 7.

Se realizan a partir de las mediciones transformadas en el dominio de la frecuencia los cálculos de cambio de capacitancia dados en (1) y (2) y el análisis de coherencia dado en (4).

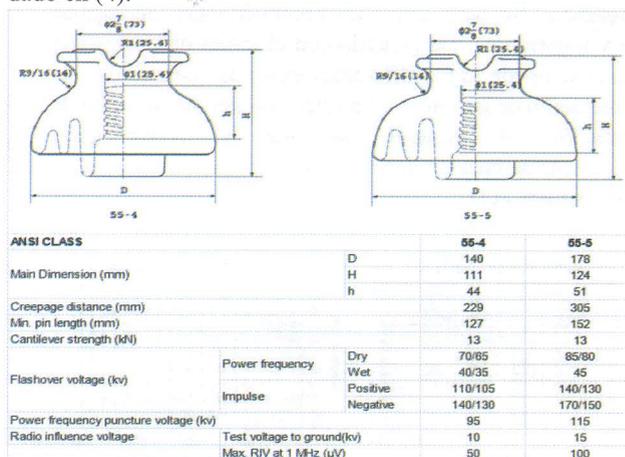


Figura 5. Características del Aislador ANSI C55-5



Figura 6. Aislador ANSI C55-5 mojado

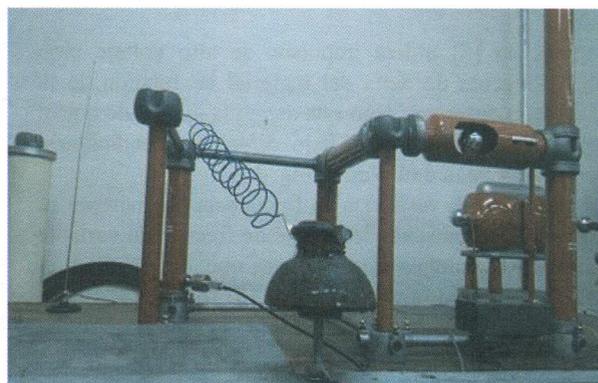


Figura 7. Aislador ANSI C55-5 contaminado

Los pasos seguidos en esta metodología fueron:

Para el aislador:

1. Buscar el nivel de voltaje de impulso aplicado que produce una descarga o contorno del aislador (*flashover*).
2. Realizar la aplicación del voltaje de impulso con valores significativamente menores al valor de descarga en las condiciones deseadas del aislador (seco, húmedo, contaminado).
3. Medir el voltaje aplicado y la corriente de fuga 5 veces.
4. Realizar la aplicación de voltaje que produce la descarga buscando un nivel de probabilidad de descargar del 10% según IEC 60060-1 [15].
5. Repetir el paso 3.

Los valores de las señales en el dominio de la frecuencia se normalizan a un valor de amplitud de 1, pues la observación de los patrones se hará en la forma y no en la amplitud.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El voltaje de disrupción de tipo impulso en el aislador fue medido con un total de 4 muestras de 100 impulsos cada una, y se determina que tiene una probabilidad de descarga del 20.2 % con una desviación estándar de 7.6 % según los métodos de IEC 60060-1.

En la medición de la probabilidad de falla del voltaje de impulso aplicado al aislador se debe mencionar que debido a la evaporación del agua sobre el aislador la probabilidad de cada falla se reduce, es decir, al inicio del conteo de descargas se producen más contorneos debido a que el aislador está mojado, y a medida que va pasando el tiempo se tienen menos descargas, por esa razón, es bastante complicado ajustar el voltaje de descarga en el aislador a un voltaje estándar de 10% de probabilidad o del 50% como es común en los aislamientos.

La Fig. 8 muestra el ejemplo de una descarga en el aislador medida con el osciloscopio en el dominio del tiempo, se puede observar lo difícil que resulta visualizar algún patrón con las señales de ésta forma.

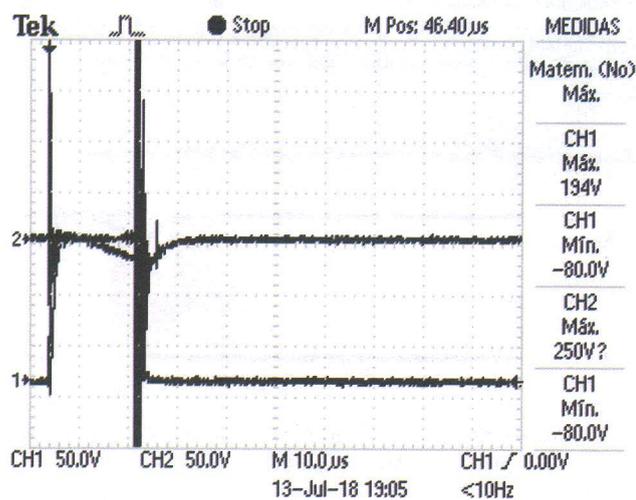


Figura 8. Impulso aplicado al Aislador ANSI C55-5 contaminado. CH1: impulso de 79.1 kV, CH2: corriente de fuga.

Los resultados de las curvas de respuesta en frecuencia del aislador se muestran en las siguientes figuras.

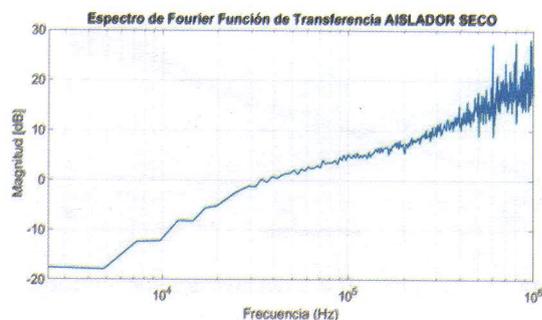


Figura 9. Respuesta IFRA del aislador seco

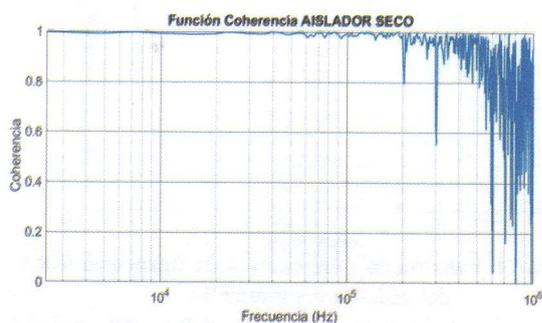


Figura 10. Función de coherencia de la Respuesta IFRA del aislador seco

La Fig.9 muestra la respuesta IFRA del aislador seco que junto a la función de coherencia de la Fig. 10 indica que los datos se pueden considerar útiles (por ruido) hasta 200 kHz aproximadamente.

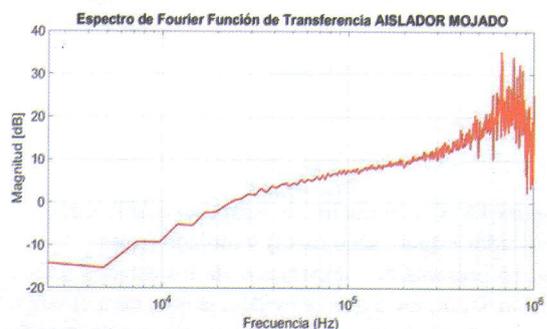


Figura 11. Respuesta IFRA del aislador mojado

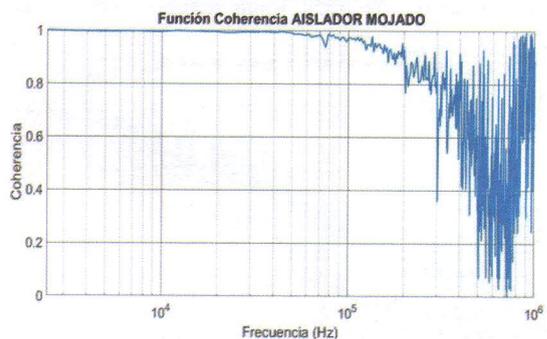


Figura 12. Función de coherencia de la Respuesta IFRA del aislador mojado

La Fig.11 muestra la respuesta IFRA del aislador mojado que junto a la función de coherencia de la Fig. 12 indica que

los datos se pueden considerar útiles (por ruido) hasta 100 kHz aproximadamente.

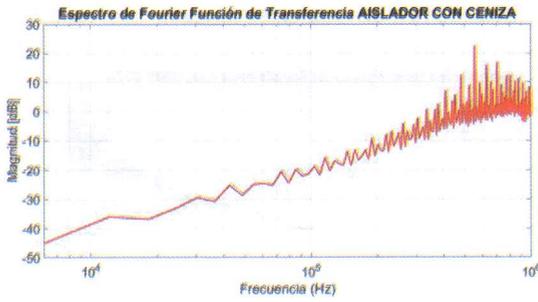


Figura 13. Respuesta IFRA del aislador contaminado

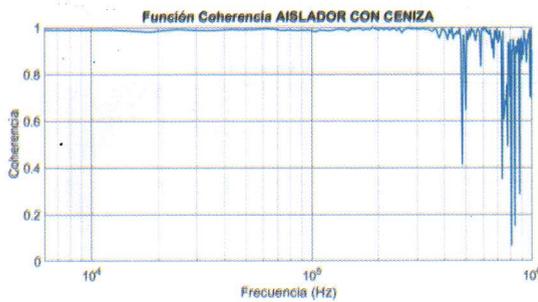


Figura 14. Función de coherencia de la Respuesta IFRA del aislador contaminado

La Fig.13 muestra la respuesta IFRA del aislador contaminado sin descarga que junto a la función de coherencia de la Fig. 14 indica que los datos se pueden considerar útiles (por ruido) hasta 400 kHz aproximadamente.

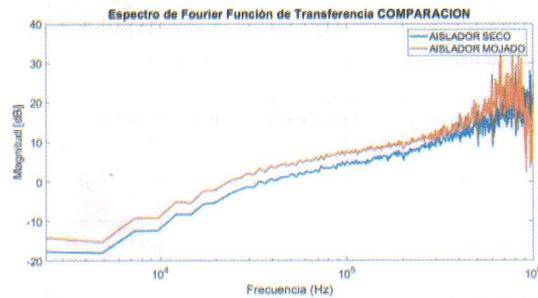


Figura 15. Comparación de Respuestas IFRA del aislador estado: seco (azul) y mojado (roja)

La Fig. 15 presenta la comparación de los estados seco y mojado del aislador, en la que se evidencia que, para el rango útil de datos dado por la menor función de coherencia, en este caso aislador mojado hasta 100 kHz, la respuesta IFRA se desplaza hacia arriba, es decir toma mayores valores de amplitud.

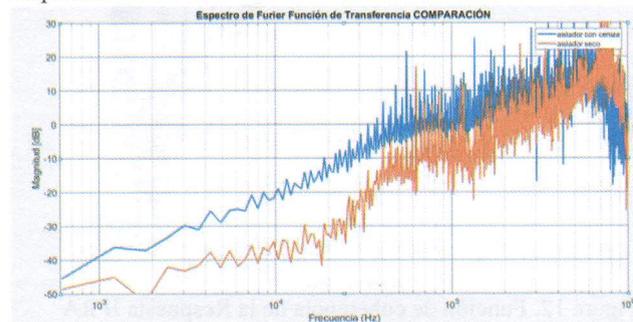


Figura 16. Comparación de Respuestas IFRA del aislador estado: seco (roja) y contaminado (azul)

La Fig. 16 presenta la comparación de los estados seco y contaminado del aislador, en la que se evidencia que, para el rango útil de datos dado por la menor función de coherencia, en este caso aislador seco hasta 200 kHz, la respuesta IFRA se desplaza hacia arriba, es decir toma mayores valores de amplitud.

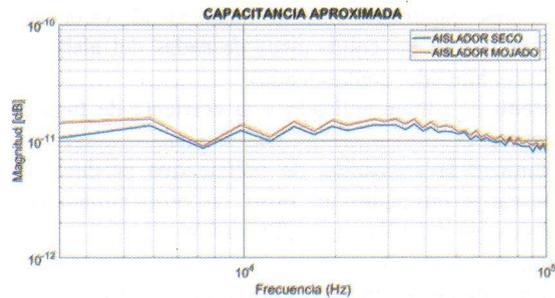


Figura 17. Capacitancia aproximada del aislador estado: seco (azul) y mojado (roja)

La Fig. 17 presenta la comparación de los estados seco y mojado del aislador, en la que se evidencia que, para el rango útil de datos dado por la menor función de coherencia, en este caso aislador mojado hasta 100 kHz, la capacitancia aproximada aumenta.

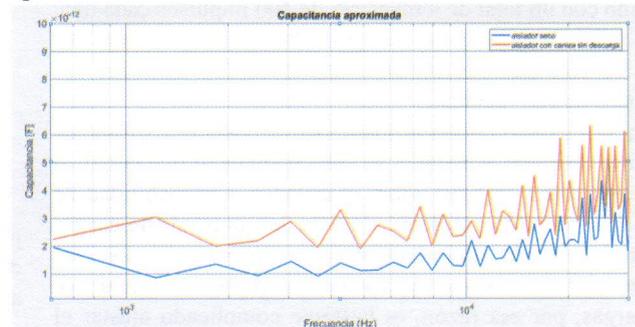


Figura 18. Capacitancia aproximada del aislador estado: seco (azul) y contaminado (roja)

La Fig. 18 presenta la comparación de los estados seco y contaminado del aislador, en la que se evidencia que, para el rango útil de datos dado por la menor función de coherencia, en este caso aislador mojado hasta 200 kHz, la capacitancia aproximada aumenta.

Se presentan también a continuación los resultados obtenidos en el aislador contaminado cuando se presentó un *flashover*:

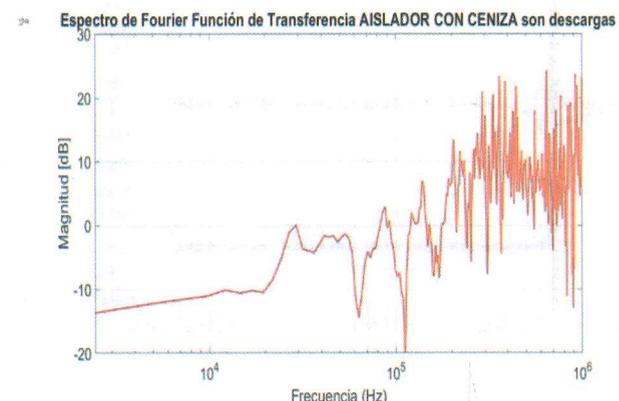


Figura 19. Respuesta IFRA del aislador contaminado y con *flashover*

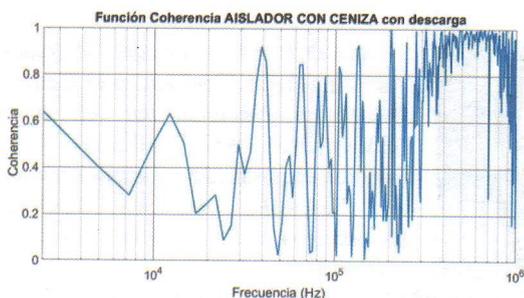


Figura 20. Función de coherencia de la Respuesta IFRA del aislador contaminado y con *flashover*

La Fig.19 muestra la respuesta IFRA del aislador contaminado y en el que hubo una descarga que junto a la función de coherencia de la Fig. 20 indica que los datos difícilmente se pueden considerar útiles (por existir demasiado ruido en la descarga) sobre 10 kHz aproximadamente.

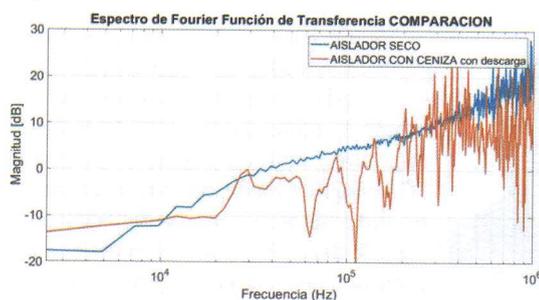


Figura 21. Comparación de las Respuestas IFRA del aislador seco (azul) y contaminado y con *flashover* (roja)

La Fig. 21 presenta la comparación de los estados seco y contaminado del aislador en el que hubo una descarga, en la que se evidencia que, para el rango útil de datos dado por la menor función de coherencia, en este caso aislador contaminado hasta 10 kHz, la respuesta IFRA se desplaza hacia arriba, es decir toma mayores valores de amplitud.

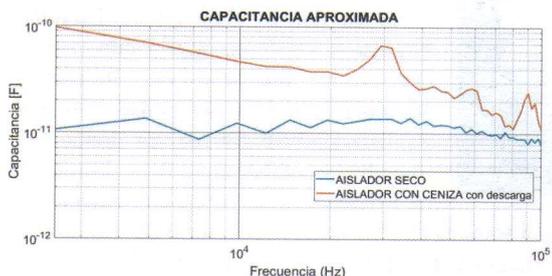


Figura 22. Capacitancia aproximada del aislador seco (azul) y contaminado y con *flashover* (roja)

La Fig. 22 presenta la comparación de los estados seco y contaminado del aislador, en la que se evidencia que, para el rango útil de datos dado por la menor función de coherencia, en este caso aislador contaminado hasta 10 kHz, la capacitancia aproximada aumenta.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se desarrolló una metodología práctica y experimental para la obtención de la respuesta en frecuencia mediante la aplicación de impulsos atmosféricos estándar de alto voltaje y la utilización de los equipos presentes en el laboratorio de Alto Voltaje de la EPN.

El diagnóstico empleado en el análisis de respuesta en frecuencia está basado en la comparación de curvas representativas, por lo que al comparar las trazas obtenidas en cada estado se presentan diferencias notables en cuanto a desplazamiento en magnitud y frecuencia.

Al empeorar el aislamiento, se tiene un aumento en la respuesta en frecuencia IFRA calculada, esto se puede usar como un indicador de que un aislamiento está envejeciendo o deteriorándose.

Al empeorar el aislamiento, se tiene un aumento en la capacitancia calculada, esto debido a que se cambia la permitividad del medio dieléctrico.

El impulso estándar atmosférico tiene un ancho de banda aproximado entre 100 a 400 kHz, es decir en esa extensión de frecuencia es donde concentra la mayor potencia de la señal, esta banda se ve afectada debido al ruido presente en la digitalización y el ambiente externo de medida.

Se verifica que las mediciones FRA pueden ser utilizados para la evaluación del aislamiento, siendo un complemento a las pruebas de rutina, pues ambos resultados sirven para dicha evaluación.

Con el fin de perfeccionar la técnica desarrollada es posible establecer los siguientes trabajos futuros:

- Realizar montajes experimentales en el campo de prueba de tal forma a validar y refinar la metodología, es decir, este tipo de metodología se puede aplicar si se obtienen las señales de la perturbación eléctrica en los elementos de la red cuando hay un transitorio de voltaje.
- Estudiar y perfeccionar los estudios de caso para otros tipos de aisladores e inyección de otros niveles de voltaje.
- Si bien se ha desarrollado una metodología experimental en la cual se puede obtener mediciones FRA aproximadas con el equipo presente en el Laboratorio de Alto Voltaje, se recomienda que la institución adquiera equipos destinados a este tipo de mediciones pues actualmente se desarrollan este tipo de pruebas como un complemento en la evaluación.

VI. REFERENCIAS

- [1] B. Valecillos, Análisis de la respuesta en frecuencia como herramienta de evaluación de las pruebas de impulso en transformadores, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2005.
- [2] S. Alsuhaibani, Y. Khan, A. Beroual y N. Malik, «A Review of Frequency Response Analysis Methods for Power Transformer Diagnostics,» *Energies*, vol. 9, pp. 1-17, 2016.
- [3] P. Vaessen y E. Haniq, «A new frequency response analysis method for power transformers,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 7, n° 1, pp. 384-391, 1992.
- [4] R. Nikjoo, Dielectric Response and Partial Discharge Diagnostics of Insulation Systems by Utilizing High Voltage Impulses, Stockholm: KTH Doctoral Thesis, 2016.
- [5] N. Nikjoo, N. Taylor, R. Clemence y H. Edin, «Dielectric Response of Aged Transformer

Bushings Utilizing Power System Transients,» de *4th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, Copenhagen, 2013.

- [6] R. Nikjoo, «Dielectric Response of Oil-impregnated Paper by Utilizing Lightning and Switching Transients,» *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, n° 1, pp. 335-344, 2015.
- [7] R. Nikjoo, «Dielectric Response Measurement of Power Transformer Bushing by utilizing High Voltage Transients,» de *2012 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Montrea, 2012.
- [8] R. Nikjoo, «Effect of Superimposed Impulses on AC Partial Discharge Characteristics of Oil-Impregnated Paper,» *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 23, n° 6, pp. 3602-3611, 2016.
- [9] R. Nikjoo, «Dielectric Response Measurement by Impulse Stimulus on AC: Measurement Considerations and Laboratory Testing on a Bushing,» *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 24, n° 1, pp. 511-518, 2017.
- [10] IEEE, «IEEE Std C57-149-2012 "Guide for the Application and Interpretation of Frequency Response Analysis for Oil-Immersed Transformers",» IEEE Power and Energy Society, 2012.
- [11] P. Picher, J. Lapworth, T. Noonan y J. Christian, «Mechanical-Condition Assessment of Transformer Windings Using Frequency Response Analysis (FRA),» CIGRE WG A2.26 Technical Brochure 342, Toronto, 2008.
- [12] M. Yousof, C. Ekanayake y T. Saha, «Examining the ageing of transformer insulation using FRA and FDS techniques,» *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, n° 2, pp. 1258-1265, 2015.
- [13] J. Cortes, F. Medina y J. Chávez, «Del Análisis de Fourier a las Wavelets,» *Scientia et Technica Año XIII*, vol. 13, n° 34, pp. 151-156, 2007.
- [14] B. Valecillos, Sistema de Evaluación de Resultados para los Ensayos de impulso a Transformadores, Tesis. Universidad Simón Bolívar, 2005.
- [15] «IEC Std. 60060-1 "High-voltage test techniques Part 1: General definitions and test requirements",» IEC, 1989.

VII. BIOGRAFÍAS



Juan D. Ramírez Guasua, se graduó como Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en el 2015. Actualmente está realizando sus estudios de posgrado en Administración de Empresas de los Sectores Estratégicos en la Escuela Politécnica Nacional.

Se ha desempeñado como especialista técnico en la construcción de líneas de transmisión de electricidad en CELEC EP TRANSELECTRIC y en la actualidad trabaja como Profesor Ocasional en el Departamento de Energía Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés incluyen: teorías de sistemas y control aplicadas al sistema eléctrico de potencia, modelación y simulación de sistemas eléctricos, ingeniería de alto voltaje, y operaciones comerciales del sector eléctrico.



Víctor Hugo Tibanlombo, nació en Ambato, Ecuador el 23 de mayo de 1994, sus estudios primarios los realizó sus estudios secundarios en el Instituto Superior Tecnológico Docente "Guayaquil" donde obtuvo el grado de bachiller técnico con especialización en electricidad. Ha realizado prácticas pre profesionales en la Empresa Eléctrica

Ambato S.A en el Departamento de Distribución en la Sección de Operación y Mantenimiento, Departamento de Subtransmisión en la Sección de Diseño y Construcción. Actualmente se encuentra concluyendo su proyecto de titulación para obtener el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional.



María Fernanda Trujillo León, nació en Quito, Ecuador el 4 de septiembre de 1989. Posee graduación en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Estadual Paulista-UNESP en São Paulo, Brasil (2014) y maestría en Ingeniería Mecánica por la Universidad Estadual Paulista-UNESP (2016), en donde fue miembro y colaboradora del Laboratorio de Eficiencia Energética en Sistemas de

Iluminación Pública (LESIP), del Laboratorio de Calidad de Energía Eléctrica (LATQEE) y del Centro de Energías Renovables (CER) en el transcurso de su carrera. Tiene experiencia industrial en proyectos electro-electrónicos hospitalarios y en el área de investigación de fuentes de energías renovables, fue investigadora invitada en el Instituto de Sistemas de Energía Integrados (IESVic) de la Universidad de Victoria, Canadá (2017). Actualmente es Técnica Docente en la Escuela Politécnica Nacional de la Facultad de Ingeniería Mecánica y trabaja en los laboratorios de Electricidad y Electrónica Industrial.



Miguel Argoti, nació en Tulcán – Ecuador el 25 de septiembre de 1989. Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la especialización de Electrónica y Control (2014). Se ha desempeñado en mantenimiento e instalación de UPS's en la Empresa CELCO.CIA. En el año 2014 se desempeñó como Técnico Docente Politécnico y en el año 2015 hasta la fecha como Profesor Ocasional 2 para el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés son la Instrumentación Industrial y la Mecatrónica.



Edison Novoa Guamán, realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior “Sucre” obteniendo el título de Bachiller Técnico Industrial con especialización en Electricidad, 2009. Los estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la carrera de Ingeniería Eléctrica, 2015. Trabajó como técnico de Help Energy Consultores S.A., la Empresa Eléctrica Quito y actualmente trabaja como profesor ocasional en la Escuela Politécnica Nacional. La principal área de interés es el estudio de Sistemas Eléctricos de Distribución de Energía Eléctrica.