

Recibido: 10 de septiembre de 2015  
Aceptado: 31 de octubre de 2015**ANÁLISIS DE EVENTOS SOBRE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN  
EN UNA EMPRESA DEL SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA****EVENT ANALYSIS ON DISTRIBUTION TRANSFORMERS IN ELECTRIC  
POWER COMPANIES IN COLOMBIA****MSc. Mónica Rosa López Guayasamin, PhD. Omar Danilo Castrillón.  
PhD. Eduardo Cano.****Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales,** Ingeniería Industrial.  
Sede la Nubia, Tel: 8879400 ext 55782-55776 Manizales, Caldas, Colombia.  
E-mail: {mrllopezg, odcastrillong, eacanopl}@unal.edu.co.

**Resumen:** Este trabajo desarrolla una metodología para el análisis de eventos utilizando la herramienta estadística R, sobre algunos dispositivos de la red eléctrica en una empresa del sector, de los cuales se tienen registradas las novedades de eventos presentados tanto programados como no programados en un periodo de tiempo.

**Palabras clave:** Calidad del servicio, patrones, eventos, transformadores.

**Abstract:** This work developed a methodology for event analysis using the R statistical tool, on some devices from the mains in a company of the sector, which have registered the new event presented both scheduled and non-scheduled at a time.

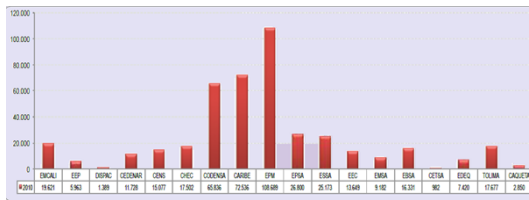
**Keywords:** Quality of service, standards, events, transformers.

**1. INTRODUCCIÓN**

El problema de las fallas de transformadores se ha estudiado en Colombia desde hace varios años con diferentes enfoques. En la revisión de los estudios realizados en el país, con relación al caso de fallas en los transformadores, se encontraron diferentes proyectos en los siguientes temas: las variables de evaluación ambiental (Acevedo, 1998), el plan de continuidad del servicio (Pereira, 2012a), (Pereira, 2012b) (Pereira, 2013), Simposio Variables Atmosféricas vs. *Sags* (Torres, 2007), entre otros que nos garantizan un camino que se ha venido estructurando desde hace varios años y que a la fecha no ha tenido una solución de raíz para esta problemática.

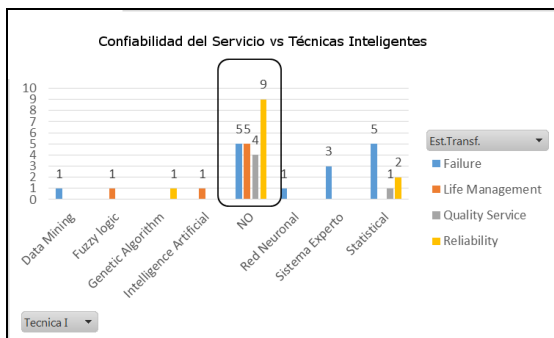
Por otra parte, el análisis de falla sobre los transformadores toma relevancia debido a que actualmente están siendo registrados los eventos asociados a estos equipos, ya que como consecuencia de la regulación se tiene que medir la indisponibilidades o interrupciones de los equipos pues esta información es insumo para los cálculos de los indicadores de calidad del servicio.

Adicionalmente, el costo asociado al mantenimiento de estos equipos es representativo, teniendo en cuenta que estos comprenden la mayor cantidad entre los elementos componentes de la red de los Operadores de Red (ASOCODIS, UPME, 2011) como se muestra en la siguiente figura:



*Fig. 1. Número de Transformadores de distribución por empresa a 2010. Adaptado de (ASOCODIS, UPME, 2011).*

A la fecha, los estudios de confiabilidad en los transformadores a nivel mundial se han centrado en temas puntuales como el análisis de gas disuelto en transformadores Wang(2012), (Pereira, 2012a), (Zhan, Member, Goulart, Falahi, & Rondla, 2015), entrenamiento de herramientas como redes neuronales Zhang(1996), (Kuznetsova, Li, Ruiz, & Zio, 2014), sistemas expertos con información limitada del comportamiento ciertos transformadores (Lin, Ling, & Huang, 1993), identificación variables de mantenimiento mediante lógica difusa(Arshad, Islam, & Khaliq, 2014), minería de datos para calidad de eventos (M. Guder 2014), falla de transformadores y métodos estadísticos (Soto, 2015), (Youssef, 2003), (Mkandawire, Ijumba, & Saha, 2015), (Mago, Valles, & Olaya, 2012), (Georgilakis & Kagiannas, 2014), (Ridwan & Talib, 2014), (Zompakis, Bartzas, & Soudris, 2015), (Zompakis et al., 2015), (Henao, Amaya, & Jaramillo, 2014), entre otros. La siguiente figura permite dimensionar el estudio de transformadores utilizando herramientas que permitan analizar grandes volúmenes de datos y alguna técnica inteligente para este fin.



*Fig. 2. Revisión bibliográfica para Confiabilidad del servicio vs. Técnicas Inteligentes.*  
Fuente: Elaboración propia

Este documento, ofrece un análisis objetivo de los eventos registrados en transformadores de distribución de una empresa del sector eléctrico colombiano, utilizando el paquete estadístico R con el fin de poder identificar características de los eventos que se originan en las operaciones de mantenimiento y/o reparaciones de estos equipos.

Este trabajo contribuye al análisis del comportamiento de los equipos mediante el uso de instrumentos de recolección de datos utilizados en la misma empresa.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el trabajo fue *Cross Industry Standard Process for Data Mining - CRISP-DM*. Para iniciar este proceso fue necesario realizar las fases definidos en la metodología para tal fin, como son:

- Comprensión del Negocio. En este punto fue importante el acompañamiento que se tuvo con los integrantes de la empresa, donde se manifestó las necesidades del proceso y se determinó cual información era importante.
- Comprensión de los datos. Una vez identificado el objetivo del trabajo, se procedió con la construcción de consultas que permitieron poblar las estructuras diseñadas con el fin de trabajar sobre ambiente de pruebas para el análisis de datos.
- Preparación de los datos. En este punto se encontraron varios detalles respecto a los datos, como son calidad de la información por lo cual se tuvo que realizar un tratamiento de limpieza de datos con el fin de obtener mejor calidad en el procesamiento de la información. Dicho proceso fue realizado mediante consultas previas a las bases de datos y en algunos casos con la exclusión de datos mediante la herramienta estadística R.
- Modelamiento. En esta fase se utilizó la herramienta estadística R, mediante la cual se procesaron actividades como visualización de consolidados de datos, distribuciones de variables, correlación de variables entre otras actividades que fueron permitidas con los datos existentes.
- Evaluación. Aunque en esta fase se realiza un análisis de los modelos aplicados a los datos motivo del estudio, se encontró que variables como consumos, eventos atmosféricos, historial de mantenimientos de los transformadores, era fundamental en el proceso de análisis, pero debido a que dicha información no se contaba para este estudio, esta fase no se terminó de manera satisfactoria.
- Despliegue. Aplicar en la práctica los modelos obtenidos. Se aclara que esta fase no se pudo lograr en este estudio, sin embargo teniendo en cuenta que este trabajo es insumo para el proyecto de Doctorado “Visualización de la confiabilidad de los transformadores mediante

el uso de técnicas inteligentes”, es necesario que dicho trabajo continúe y se pueda complementar las últimas dos fases de esta metodología con el fin de poder aprovechar esta información como parte de un piloto para el trabajo de Doctorado.

### 3. EXPERIMENTACIÓN

Para la realización del análisis de eventos sobre los transformadores se contó con un repositorio de información recopilada desde el año 2010 a la fecha de una empresa del sector eléctrico, que permitiera identificar los eventos asociados a los transformadores, con la causa registrada por los técnicos en terreno que efectúan estos mantenimientos, y en algunos casos, se tienen características particulares de los mismos.

Es importante aclarar que para realizar este proceso fue necesario realizar una extracción de datos sobre las bases de datos existentes, tomando como base la información identificada como relevante y mediante la cual se pudieran modelar resúmenes analíticos que permitieran identificar señales o patrones de comportamiento de los datos.

### 4. RESULTADOS

Para iniciar el proceso de análisis de datos, se tomó como variable de referencia, la cantidad de eventos que fueron reportados en un período de tiempo. Por otro lado, se involucraron variables relevantes dentro de los eventos que permitieron clasificar comportamientos como son: zonas, tipo eventos, equipos, circuitos más representativos, marca transformadores, año de fabricación de los transformadores, capacidad del transformador (KVA), año y mes de generación de eventos.

El primer aspecto identificado en la operación de agrupación de datos de eventos, se presenta en la figura 3 donde se ve claramente que uno de los dispositivos de mayores indisponibilidades son los transformadores.

Con base en la anterior afirmación, se definió que los eventos que se debían analizar y de los cuales se tiene más información y de los cuales se podía identificar posibles patrones eran los transformadores.

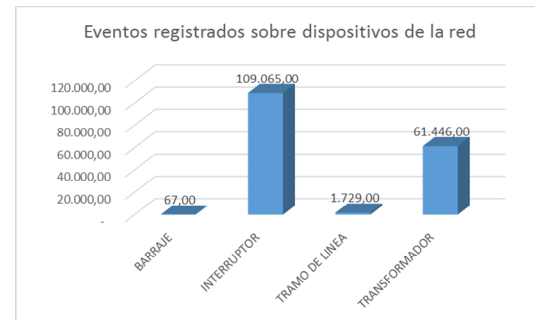


Fig. 3. Eventos sobre dispositivos de red.

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar el análisis de esta información se utilizó la estadística como herramienta que permite realizar análisis de datos; por lo cual este estudio tiene un enfoque estadístico que implica cálculos de frecuencia, desviación, correlaciones entre variables.

#### 4.1 Análisis de Causas

Las causas registradas por los técnicos en terreno, quienes realizan los mantenimientos asociados a los eventos se encuentran clasificados de acuerdo a lo establecido por la Comisión Reguladora Energía y Gas - CREG mediante resolución 097 del 2008 donde se establecen los diferentes tipos de interrupción que generan discontinuidad en el servicio. En este análisis se identifica que los mayores eventos son:

- Condiciones atmosféricas adversas cuando se atribuye a un rayo o cambio climático dicha avería.
- Mantenimiento en redes cuando se programan mantenimientos que afectan la continuidad del servicio.
- Causa desconocida cuando no se ha podido detectar la causa que generó el evento.
- Línea rota cuando se presentó una avería en este dispositivo y requiere atención inmediata.
- Defecto en otros equipos, cuando se atribuye la causa a otro dispositivo de la red.
- Árbol o rama sobre línea cuando por efectos de no podar la vegetación cercana a la red, se genera un evento.

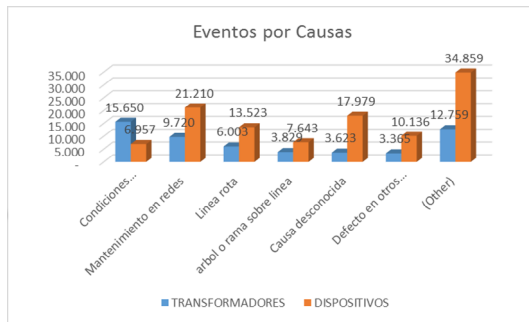


Fig. 4. Eventos clasificados por Causas.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 Análisis de otras variables

Por otro lado, mediante este análisis se pudo establecer que los eventos asociados a los transformadores tienen un efecto importante para la detección de posibles causas de igual forma que la correlación de variables como:

- Relación de eventos con zonas geográficas de mayor demanda. En la siguiente figura, se evidencia que luego de Manizales (zona donde se realiza la mayor cantidad de mantenimientos ya que cobertura de red es más alta en esta zona), la zona de mayor movimiento de eventos es Samaná, teniendo en cuenta que el país se encuentra ubicado en una de las zonas con más alto índice de densidad de descargas a tierra (DDT) del planeta (H. Torres, 1996), y para el municipio de Samaná se registra un nivel de DDT de 10-9 descargas/km<sup>2</sup>-año (Younes C., Torres H. 2010).

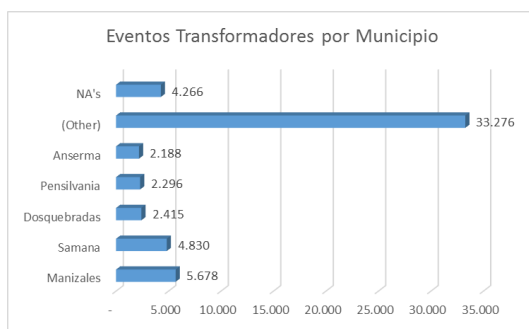


Fig. 5. Eventos sobre transformadores por municipio  
Fuente: Elaboración Propia.

- Relación entre fallas de mantenimiento y potencia nominal de los equipos. En la figura 6 se visualiza que los transformadores de capacidades de 15 y 25 KVA son los que representan mayores indisponibilidades en los sistemas de distribución. Es de aclarar que

aunque un 35% de equipos tienen esta potencia nominal (15,25) de toda la población, es normal que sean los equipos mayor referenciados en registro de eventos ya que son los de mayor uso en la red de distribución de la compañía.

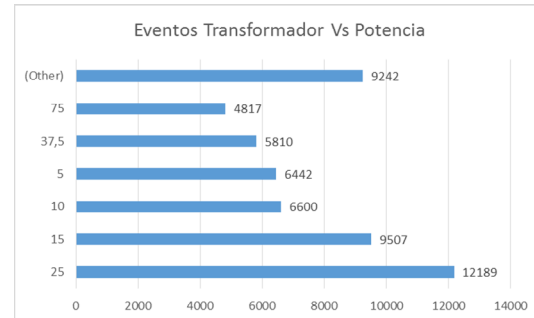


Fig. 6. Eventos sobre transformadores por Potencia Nominal.  
Fuente: Elaboración Propia.

- Relación entre fallas de mantenimiento y años de fábrica. De acuerdo a la figura 7 se evidencia que los más altos picos de indisponibilidades se presentaron en los años 1994, 1995. Al revisar la historia de transformadores existentes en la compañía se encuentra que el 20% de la población corresponde a equipos cuyo año de fabricación oscila entre 1993, 1994 y 1995. Sin embargo las evidencias en el sitio de trabajo demuestran que estos dispositivos se cambian por daño, no por vida útil con lo cual se evidencia una correlación entre los eventos por mantenimiento reportados en esta figura vs la cantidad de elementos existentes con estos años de fabricación.

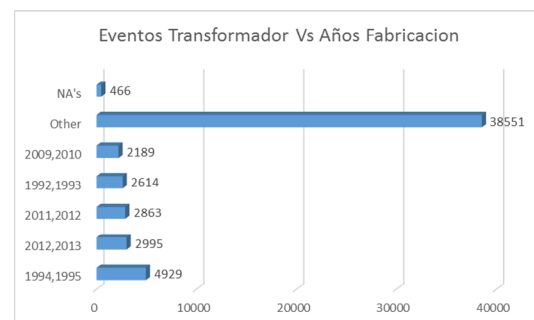


Fig. 7. Eventos sobre transformadores por años Fabricación.  
Fuente: Elaboración Propia.

- Meses con mayores picos de ocurrencia. En la figura 8 se empieza a evidenciar una tendencia en indisponibilidades presentadas en los meses septiembre 2013, septiembre 2014, mayo 2014

entre otros. Históricamente en la compañía se tiene definido que los meses de abril y mayo o septiembre y octubre son estacionalidades de mayor tendencia a lluvias y por consiguiente a generar mantenimientos sobre los transformadores por descargas atmosféricas.

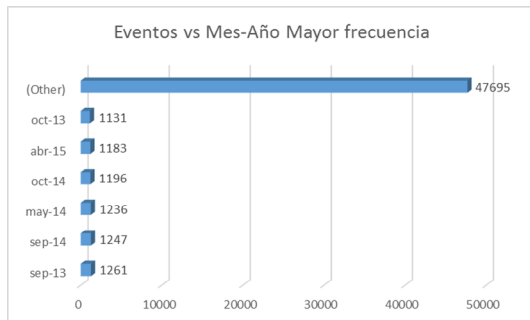


Fig. 8. Eventos sobre transformadores en periodos con mayor frecuencia.

Fuente: Elaboración Propia.

- Marcas de dispositivos con mayor frecuencia. Se encuentra que hay mayor número de indisponibilidades en los dispositivos de marca MAGNETRON. Se aclara que los dispositivos de fabricación regional (Pereira) con un costo económico son de esta marca y corresponden al 40% de la población de transformadores en la compañía.

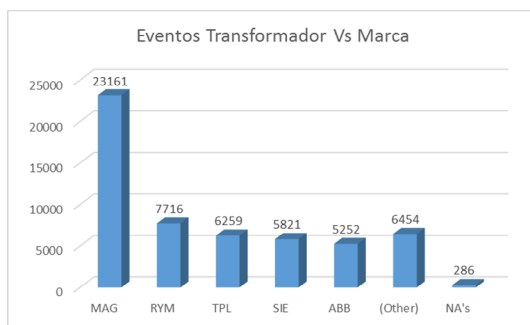


Fig. 9. Eventos sobre transformadores por Marca Transformadores.

Fuente: Elaboración Propia.

## 5. CONCLUSIONES

Al terminar el trabajo, se encontraron varios puntos que fueron determinantes para la extracción de resúmenes finales y correlaciones entre variables encontradas. Uno de ellos es que la información que se tiene para su análisis es mucha, pero a la cual se le debe aplicar un proceso de limpieza en los datos para garantizar la consistencia de las

evidencias encontradas. Por otro lado se detecta que aunque se encuentran patrones de comportamiento en los datos de eventos, se encuentra que hace falta más variables de tipo entrada que permitan complementar el análisis de los datos con el fin de poder generar modelos referencia y poder dar lineamientos a la compañía en sus labores de mantenimiento a fin de mejorar en su actuar ser más preventivos que correctivos.

De este análisis se pueden realizar otros estudios donde es importante involucrar variables como consumos, eventos de condiciones atmosféricas como rayos, resultados de mantenimiento de los transformadores, base de datos vegetación en la zona de caldas, entre otros. Incorporando estas variables al estudio realizado, se puede llegar a implementar un esquema inteligente que facilite la visualización de patrones de comportamiento de la pérdida de continuidad del servicio.

## RECONOCIMIENTO

A la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Institución que ha apoyado este proceso de investigación y a la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC S.A. E.S.P. empresa que ha facilitado los datos, el conocimiento y los recursos para la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Arshad, M., Islam, S., & Khaliq, a. (2014). Fuzzy logic approach in power transformers management and decision making. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 21(5), 2343–2354. doi:10.1109/TDEI.2014.003859
- ASOCODIS, UPME, M. D. M. Y. E. R. D. C. (2011). Informe sectorial sobre la evolución de la distribución y comercialización de energía eléctrica en Colombia. Colombia.
- Georgilakis, P. S., & Kagiannas, A. G. (2014). A novel validated solution for lightning and surge protection of distribution transformers. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 63, 373–381. doi:10.1016/j.ijepes.2014.06.004
- Henao, F., Amaya, J., & Jaramillo, R. (2014). Sistema experto ( SE ) para evaluar y caracterizar fallas en líneas de transmisión utilizando razonamiento basado en casos (RBC). 1er Seminario Internacional (p. 24). Medellin, Colombia.

- H. Torres, (1996) Experience and First Results of Colombian Lightning Location Network, in Proceedings of the 23th International Conference on Lightning Protection Firenze, Italy.
- Kuznetsova, E., Li, Y. F., Ruiz, C., & Zio, E. (2014). An integrated framework of agent-based modelling and robust optimization for microgrid energy management. *Applied Energy*, 129, 70–88. doi:10.1016/j.apenergy.2014.04.024
- Lin, C. E., Ling, J.-M., & Huang, C.-L. (1993). An expert system for transformer fault diagnosis using dissolved gas analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 8, 231–238. doi:10.1109/61.180341
- Mago, M. G., Valles, L., & Olaya, J. J. (2012). An analysis of distribution transformer failure using the statistical package for the social sciences (SPSS) software. *Ingeniería e Investigación*, 32(2), 40–45. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865393671&partnerID=40&md5=7c4dac1440822ec5869980f2779d8b58>
- M. Guder, O. Salor, I. Çadirci, B. O. and E. A. (2014). Data Mining Framework for Power Quality Event Characterization of Iron and Steel Plants (06978449).pdf, 1–11.
- Mkandawire, B. O., Ijumba, N., & Saha, A. (2015). Transformer risk modelling by stochastic augmentation of reliability-centred maintenance. *Electric Power Systems Research*, 119, 471–477. doi:10.1016/j.epsr.2014.11.005
- Pereira, U. T. de. (2012a). Acta de Ejecución No. 003 Desarrollo de un Plan de Acción en Ingeniería para la Calidad del Servicio en el Aspecto de Continuidad. Cuarto Informe Diseño Conceptual de un Sistema de Información Para Soportar la Gestión de la Calidad del Servicio Documento.
- Pereira, U. T. de. (2012b). Acta de Ejecución No. 003 Desarrollo de un Plan de Acción en Ingeniería para la Calidad del Servicio en el Aspecto de Continuidad. Tercer Informe. Diseño Conceptual de un Sistema de Información - Primer reporte.
- Ridwan, M. I., & Talib, M. A. (2014). Application of Weibull-Bayesian for the Reliability Analysis of Distribution Transformers, (March), 297–302.
- Soto, O. J. (2015). Estudio de Falla de Transformadores de Distribución en el Oriente de Caldas. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Torres, H. (2007). Calidad de la Energía Eléctrica CEL. VI Simposio Internacional Sobre Calidad de Energía Eléctrica.
- Usama, F. Gregory Piatetsky-hapiro and Padhraic Smyth (1996) From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, American Association for Artificial Intelligence
- Wang, M., Vandermaar, a J., & Srivastava, K. D. (2002). Review of condition assessment of power transformers in service. *Electrical Insulation Magazine*, IEEE, 18(6), 12–25. doi:10.1109/mei.2002.1161455
- Younes C., Torres H. (2010), Caracterización de los Parámetros del Rayo en Colombia, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Jul.
- Youssef, O. a S. (2003). A wavelet-based technique for discrimination between faults and magnetizing inrush currents in transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(1), 170–176. doi:10.1109/TPWRD.2002.803797
- Zhang, Y., Ding, X., Liu, Y., & Griffin, P. J. (1996). An artificial neural network approach to transformer fault diagnosis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(4), 1836–1841. doi:10.1109/61.544265
- Zhan, W., Member, S., Goulart, A. E., Falahi, M., & Rondla, P. (2015). Development of a Low-Cost Self-Diagnostic Module for Oil-Immerse Forced-Air Cooling Transformers, 30(1), 129–137. doi:DOI 10.1109
- Zompakis, N., Bartzas, A., & Soudris, D. (2015). Using Chaos Theory based workload analysis to perform Dynamic Frequency Scaling on MPSoCs. *Journal of Systems Architecture*, 61(1), 28–39. doi:10.1016/j.sysarc.2014.10.003