

Sistema de supervisión de carga en transformadores de distribución para compañías de distribución eléctrica.

José Nieto*, Pedro Manzano, Jesús Urbina, Milagros Peña.

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Resumen.-

En este trabajo se realiza un estudio de la cargabilidad de los transformadores de una empresa de distribución eléctrica, como es el caso de Electricidad de Valencia, basado en el método TLM, en inglés Transformer Load Management, el cual se fundamenta en la determinación de una gráfica que relaciona los KVA máximos del transformador, con los KWh facturados por el mismo, la cual se obtuvo considerando una muestra representativa de los totalizadores instalados en los transformadores y de esta forma se obtuvo el estado de carga de la totalidad de puntos de transformación. Para ejecutar este estudio fue necesario realizar una división del plano del Estado Carabobo en localidades con cargas homogéneas, y de esta forma se realizó un sistema que permite la supervisión y el control de la carga de cada transformador existente en la empresa.

Palabras clave: Control de Carga, TLM, medidores totalizadores, carga homogénea.

Monitoring system load distribution transformers for electricity distribution companies.

Abstract.-

This paper makes a study of the chargeability of the transformer's electricity distribution of the company Electricidad de Valencia, based on the TLM method (Transformer Load Management), which is based on the construction of a chart that lists the transformer's maximum KVA with the KWh billed by the same, which is built considering a representative sample of the totalizators installed in transformers and in this way was obtained the state of charge of the whole transformation points. To perform this study was necessary make a division of the Carabobo state in locations with homogeneous loads, and in this way was made a system that allows monitoring and control of load of each transformer in the company.

Keywords: Load Control, TLM, totalizators gauges, load homogeneous.

Recibido: 26 febrero 2010

Aceptado: 08 octubre 2010

1. INTRODUCCIÓN

La Supervisión de Carga en los equipos como los transformadores de distribución se hace nece-

saria debido a que estos son la parte fundamental y de mayor importancia en los sistemas de distribución, por lo que las fallas que puedan existir en los mismos podrían generar pérdidas a la empresa de distribución así como molestias a los usuarios por las suspensiones del servicio [1]. Estas fallas son ocasionadas en la mayoría de los casos por la operación continua en estado de sobrecarga de estos equipos, y a su vez esta condición se debe a la falta de un control de la carga que alimenta cada transformador. Por otro lado existen casos en que los transformadores

*Autor para correspondencia

Correos-e: josemnetoc@gmail.com (José Nieto),
pedrolm84@gmail.com (Pedro Manzano),
jurbina@elevela.com (Jesús Urbina), mpena@uc.edu.ve
(Milagros Peña.)

están subutilizados y si bien esto no constituye peligro para su funcionamiento, pudiese también representar un ahorro cuantioso para la compañía suministradora de energía, reubicando los mismos y aprovechando así su capacidad de mejor forma, tal como fue aplicado en una jornada de mitigación de transformadores quemados por sobrecarga en Electricidad de Valencia según informes presentados por López [2].

Esta investigación consiste en el desarrollo de un sistema que permita administrar y tomar las decisiones adecuadas con respecto al estado de carga de cada equipo de transformación, a fines de evitar la salida de funcionamiento del mismo innecesariamente [3,4,5]

Dentro de la totalidad de transformadores existentes en la empresa ELEVAL (6500 unidades), un tercio de esta población posee medidores totalizadores instalados [6], de los cuales se puede obtener la información de la energía total despachada en el punto, mientras que en el resto de los equipos esta información proviene de la facturación de cada cliente asociado a su respectivo transformador. El método bajo el cual se realizó el estudio fue el del TLM (Transformer Load Management), el cual consiste en relacionar estadísticamente la energía total en KWh de todos los suscriptores de un transformador con la demanda máxima en KVA del mismo. Dicho método fue ejecutado como plan piloto en una pequeña urbanización del Estado Zulia por ENELVEN, encontrándose resultados satisfactorios en esa localidad [7].

Luego de analizado este método se desarrolló un algoritmo que permite la Supervisión de Carga, el cual se implementó dentro de la empresa Electricidad de Valencia (ELEVAL), ya que tiene la capacidad de generar reportes mes a mes del estado de carga de los transformadores, realizar auditorías en cada punto de transformación, mostrar el factor de utilización histórico de manera gráfica y el total de transformadores instalados en la red divididos en cuatro categorías (subutilizado, normal, por revisar y sobrecargado), entre otras aplicaciones. Con esta información se pueden tomar las acciones preventivas que eviten la falla de los equipos por sobrecarga y redistribuir las

cargas en los subutilizados.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para aplicar el método TLM en la red de suscriptores de ELEVAL se ejecutaron diferentes pasos para obtener una mayor exactitud en los resultados.

El primer paso fue la división del plano de la ciudad en varias localidades, en las que el tipo de carga alimentada sea relativamente homogénea, distribuyendo dichas cargas según su ubicación geográfica y el tipo de consumidor predominante en la zona (residencial, industrial, comercial, etc.), así se garantiza que los transformadores de dicha localidad tengan un comportamiento similar.

En las localidades en las cuales no existen transformadores con totalizador instalado surge la necesidad de definir el término de “Localidad Equivalente”, el cual permite realizar la evaluación por medio de otra localidad de características de carga similares y que si posean totalizadores. Este término también se aplicará a las localidades en las que la cantidad de transformadores con totalizadores, represente menos del 10 % del total de transformadores de la zona, ya que por tratarse de una estimación con una muestra pequeña, el resultado de la misma sería poco confiable. Este porcentaje de exclusión se estimó considerando una distribución *t* de student [8] aplicada a la cantidad porcentual de localidades con totalizador instalado, para garantizar un grado de certeza de inclusión de elementos del 99 %

El segundo paso consiste en relacionar cada suscriptor con el transformador que lo alimenta. Esto se logra con dos subpasos; primero se hace un levantamiento en sitio de la relación de cada transformador con los postes que sirve y segundo, se relaciona cada suscriptor con el poste al que está conectado [7].

Luego de estos pasos previos se procede a elaborar una aproximación lineal por el método TLM, curva que se realiza con los totalizadores presentes en cada localidad. Para realizar esta curva primero se deben conocer los KVA máximos de demanda de cada punto, lo cual se logra

relacionando los KWh leídos por el totalizador con el factor de carga (ecuación 1) y el factor de potencia (ecuación 2), tal como se muestra en la ecuación 3.

Donde;

FC : Factor de Carga FP : Factor de Potencia

Nota: el valor del factor de carga y del factor de potencia son dato y están dados por alimentador.

Una vez obtenidos los KVA máximos, con su respectivo valor de energía facturada se procede a realizar la gráfica que relaciona ambas variables, tal como se muestra en la figura 1.

Esta curva se realiza de forma independiente para cada localidad, pero en aquellas donde no existan medidores totalizadores o que los mismos representen un porcentaje menor al 10 % con respecto a la población de transformadores presentes en la zona, no se podrá realizar la aproximación lineal.

2.1. Análisis estadístico para la selección de los límites de confianza.

Debido a que en algunas zonas de la ciudad las pérdidas no técnicas (energía no facturada por la empresa, debido básicamente al hurto) son mayores del 20 %, se presentan discrepancias entre el valor leído por el totalizador y lo que realmente se está facturando en el punto. Esta situación produce efectos negativos en la aproximación lineal generada por el sistema, ya que ocasiona una mayor dispersión de los puntos a evaluar.

Por tal motivo, fue necesario definir una razón porcentual entre el valor calculado de demanda máxima del totalizador según la ecuación 3 y este mismo valor evaluado a través de la recta

$$FC = \frac{\text{Demanda promedio (KVA)}}{\text{Demanda Máxima (KVA)}} \quad (1)$$

$$FP = \frac{\text{Potencia Activa (KW)}}{\text{Potencia Aparente (KVA)}} \quad (2)$$

$$KVA \text{ Max Tot} = \frac{KWH \text{ Totalizador}}{FC \times FP} \quad (3)$$

generada dentro de la localidad. En función a esta diferencia porcentual se establecieron límites inferior y superior para cada localidad y todos los

puntos que estén fuera de los mismos se excluirán del análisis. Estos límites se definieron según un estudio estadístico bajo el método t de Student, con el cual se garantiza que todas las localidades ofrezcan un 95 % de certeza de que los puntos que se evalúen estén dentro de los límites definidos [8].

Para el cálculo de los límites de confianza [9] se utilizó la ecuación 4 que se muestra a continuación

$$X = M \pm T \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

donde;

M : valor medio de la muestra.

S : desviación estándar.

n : muestra.

T : dato estadístico.

2.2. Sistema de Supervisión de Carga en Transformadores de Distribución.

Una vez realizadas las divisiones por cada localidad y el estudio correspondiente al TLM en cada una ellas, con su análisis estadístico se elaboró un algoritmo del sistema que permite realizar tal estudio con los datos mes a mes dados por la empresa.

La plataforma bajo la cual se desarrolló el sistema fue el manejador de base de datos Microsoft Access, el cual permite estudiar cada punto de transformación y generar reportes gráficos del comportamiento de cada equipo.

Al iniciar el sistema de supervisión desarrollado, se accederán a las opciones que presenta el mismo, entre las que se encuentran

1. Cargar datos. Almacenar datos, tanto para su auditoría, así como para la adición o eliminación de meses al histórico.
2. Auditorías. Revisa mensualmente la definición de localidades, localidades equivalentes y verifica las anomalías presentadas por los puntos de transformación cargados en el nuevo mes.
3. Gráfica TLM. Grafica el comportamiento de la relación establecida por el TLM para cada localidad y se muestra además los puntos que fueron incluidos y excluidos en este estudio.

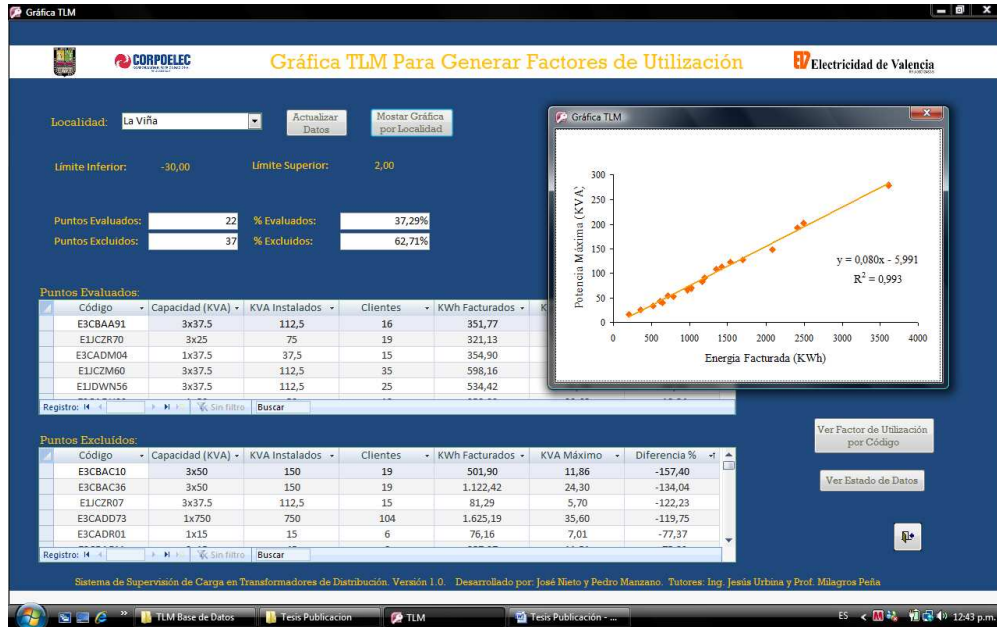


Figura 1: Curva del método TLM por localidad.

4. Históricos. Muestra gráficamente el comportamiento de factor de utilización de cada transformador a través del tiempo, así como los reportes del estado de carga de la totalidad de puntos de transformación y los detalles de los mismos mensualmente.

El sistema genera el Factor de Utilización (FU) cuyo cálculo se realiza en cada equipo de transformación, bajo las tres consideraciones siguientes

1. Según la energía facturada. Método en el cual no se toman en cuenta las pérdidas no técnicas existentes en el punto, por lo cual en algunos casos este resultado no expresa la condición real de operación del equipo. En la ecuación 5 se observa el FU según la energía facturada.

$$FU \text{ Facturado} = \frac{KVA \text{ Max Facturados}}{KVA \text{ Instalados}} \quad (5)$$

2. Según la lectura del totalizador. Expresa la condición real de operación de cada equipo, pero no todos los transformadores poseen este equipo instalado. En la ecuación 6 se observa el FU según la lectura del totalizador.

$$FU \text{ Totalizador} = \frac{KVA \text{ Maz Totalizador}}{KVA \text{ Instalados}} \quad (6)$$

3. Según el TLM. Bajo el TLM se consideran todos los equipos de la red, además toma en cuenta si el punto es exclusivo. En la ecuación 7 se observa el FU según el TLM.

$$FU \text{ TLM} = \frac{(KWh \text{ Facturados} \times m) + b}{KVA \text{ Instalados}} \quad (7)$$

donde;

m : Pendiente la ecuación de la recta obtenida.

b : Punto de corte de la ecuación de la recta obtenida.

El criterio de selección del factor de utilización más adecuado se muestra en la Figura 2.

3. RESULTADOS

La Supervisión de Carga a través del método TLM fue implementada en la empresa Electricidad de Valencia demostrando resultados de gran exactitud, luego de analizados los equipos que presentaron fallas por razones de sobrecarga concordando estos resultados con los arrojados por el sistema.

La confiabilidad en los resultados depende en gran parte de la homogeneidad de la carga en cada localidad [10], así como también de la cantidad de totalizadores presentes en dicha zona, debido

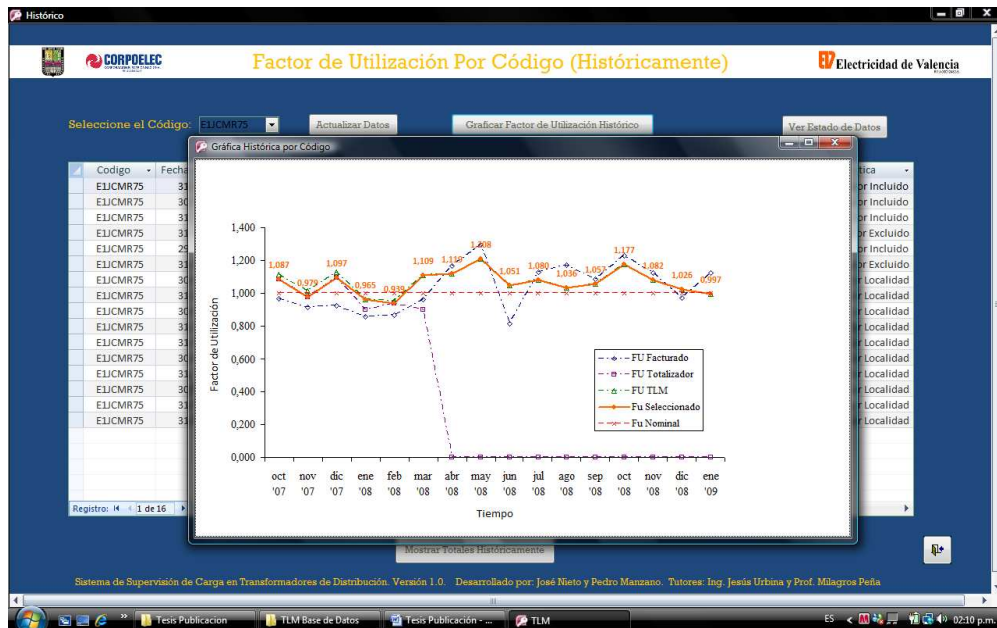


Figura 3: Comportamiento histórico del punto de transformación E1JCMR75.

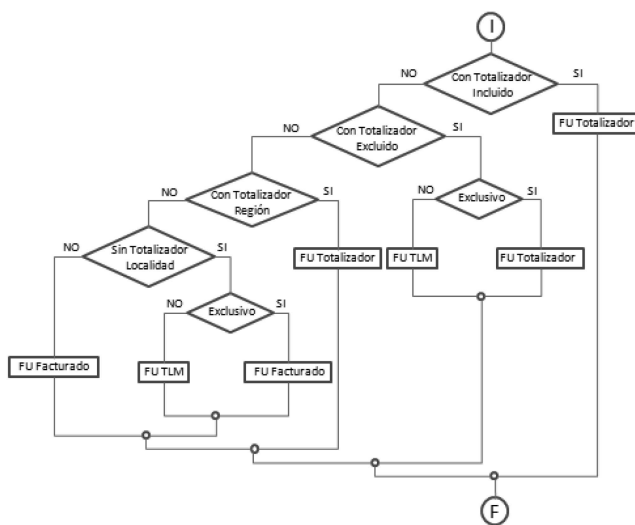


Figura 2: Algoritmo para seleccionar el Factor de Utilización.

a que a través de los mismos es que se desarrolla el estudio del TLM [7].

El sistema tiene la capacidad de generar un registro de manera gráfica que contiene cada uno de los transformadores existentes en la red de Electricidad de Valencia, mostrando para cada uno de ellos de forma histórica el valor del factor de utilización según las diferentes consideraciones que toma el mismo. En la Figura 3 se observa un

punto de transformación que presentó fallas por sobrecarga durante el año 2008, según reportes presentados por López [11].

Se puede evidenciar en el comportamiento del punto de transformación E1JCMR75, tomado como ejemplo, la sobrecarga de este equipo durante el año 2008, llegando el Factor de Utilización hasta un valor máximo de 1,208; con la implementación del sistema se pueden tomar las medidas preventivas adecuadas a fin de evitar que el equipo falle nuevamente por sobrecarga.

Adicionalmente, en la figura 3 se observa la robustez del sistema para seleccionar el factor de utilización más adecuado, ya que en los primeros meses del 2008 dicho sistema seleccionó el FU según el totalizador, pero pese a que para el mes de abril del mismo año se pierde la información del totalizador de este equipo, el factor de utilización seleccionado se rige a través del método propuesto por el TLM.

El sistema permite también generar un reporte del estado de carga del total de transformadores de la red, divididos en cuatro categorías (subutilizados, normales, por revisar y sobrecargados), tal como se muestra en la Figura 4.

Se puede observar en el reporte señalado en la figura 4 que los transformadores subutilizados

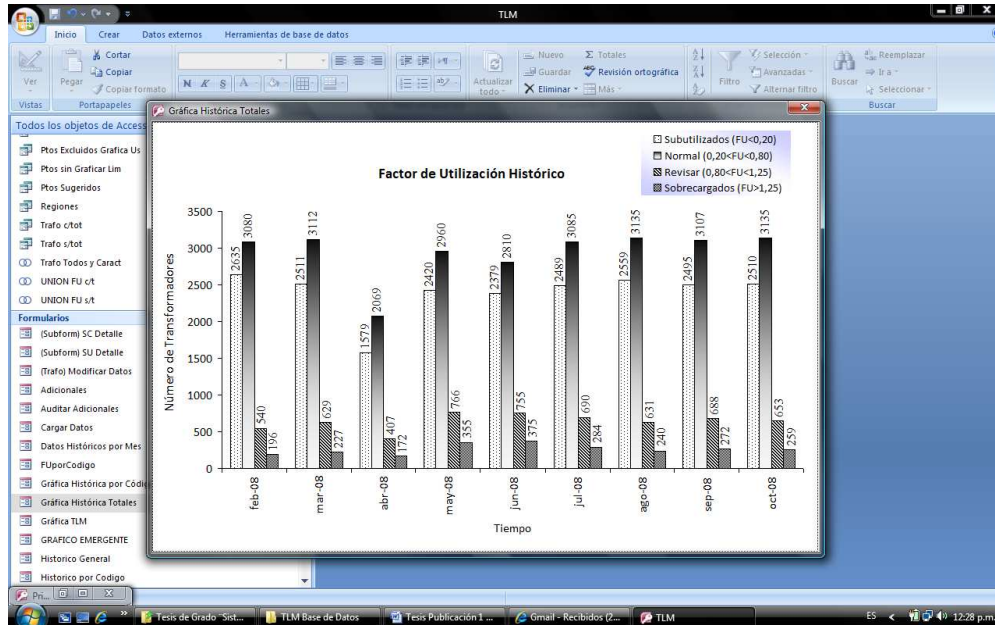


Figura 4: Estado de carga de los transformadores de la red de Electricidad de Valencia.

conforman entre un 24,87 % y 40,84 % pudiéndose utilizar los mismos para dar cobertura a aquellos que se encuentran en condición de sobrecarga, los cuales oscilan entre 2,67 % a 5,81 % evidenciándose entonces que se posee dicha capacidad de mejora en el sistema en cuanto a la sobrecarga de estos transformadores.

Los casos de los transformadores bajo la condición "por revisar" deben de ser analizados por la empresa, ya que se encuentran en condiciones que aún no son consideradas críticas pero pueden caer dentro de dicho renglón si no se toman las medidas necesarias.

En general más del 85 % de los transformadores que posee la empresa se encuentran operando en condiciones nominales o por debajo de las mismas, es decir, en condiciones de operación "saludables", mientras que el riesgo de sobrecarga abarca únicamente un 15 % del total de transformadores analizados, todo ello estudiado bajo los 9 meses señalados en la gráfica, pero de igual forma pueden observarse los cambios históricos al ir actualizando la base de datos que maneja el sistema diseñado.

4. CONCLUSIONES

La implementación del sistema de supervisión de carga en transformadores de distribución permite observar el estado de carga de sus diferentes puntos de transformación así como otras características de interés.

Para cada uno de los transformadores se obtuvo su factor de utilización de manera histórica evaluado a través de tres formas diferentes, seleccionando el más recomendado a través de un algoritmo que realiza el análisis correspondiente a cada caso.

La implementación de este sistema permite obtener beneficios económicos para la empresa, ya que para el desarrollo del método TLM se utiliza la información proveniente de los totalizadores ya instalados en la red, por lo que la inversión económica se basó únicamente en el desarrollo del sistema.

Una vez puesto en marcha el sistema es posible a través de los diferentes reportes analizar y prevenir la quema de transformadores, tomando las medidas necesarias para corregir cualquier incidente.

Es importante mencionar la necesidad de evaluar y corregir las localidades y localidades equivalentes definidas en el sistema una vez realizadas las jornadas de adecuación e instalación de equipos

totalizadores en la red.

Finalmente cabe destacar que se desarrolló una investigación de aplicación inmediata en la industria eléctrica, que trae beneficios directos en la operación y planificación del sistema de distribución eléctrica.

Referencias

- [1] Urbina, J (2009). “Indicador de Transformadores quemados” Informe presentado en Electricidad de Valencia.
- [2] López, E (2008). “Mitigación de transformadores quemados por sobrecarga en Electricidad de Valencia” Informe presentado en ELEVVAL, fecha Febrero 2.008.
- [3] Kelly, C (2005) “Itron introduces Distribution Asset Analysis Suite”. http://www.itron.com/pages/news_press_individual.asp?id=itr_0825.xml. Consultada el 03/11/2008
- [4] Sánchez, O; Velasco, J; Lozano, C. (2006). “Diseño de una aplicación para la gestión de carga en transformadores de distribución”. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012056092006000300010&lng=en&nrm=iso&tlng=es. Consultada el 07/11/2008
- [5] Sugg, A (2005). “Transformer Load Management Benefits for AMEREN Corporation”. [http://www.amrintl.org/symposium/2005Papers/Papers/Sugg %](http://www.amrintl.org/symposium/2005Papers/Papers/Sugg%20.pdf). Consultada el 25/11/2008
- [6] Oria, R; Gámez, J. (2006). “Control de las Pérdidas no Técnicas a través de los Medidores totalizadores” http://www.labplan.ufsc.br/congresos/TD2006/Papers/TD06_081.pdf Consultada el 07/11/2008
- [7] Sandoval, N. (1994) “Transformer Load Management”. ENELVEN. Maracaibo, Zulia.
- [8] Villafranca, R; Ramajo L. (2005). “Métodos estadísticos en Ingeniería” Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- [9] Kuby, J. (2003). “Estadística Elemental” Editorial Math. Tercera Edición.
- [10] Zahir J. (1996). “Load Management” School of Electrical, Computer and Telecommunications engineering, University of Australia.
- [11] López, E (2008). “Informe de Transformadores quemados en el año 2006” Informe presentado en ELEVVAL.