

## Análisis de un sistema eléctrico industrial o comercial

### Analysis of an electrical system, industrial or commercial

GONZÁLEZ-ARAGÓN-BARRERA, Enrique†\*, MARQUEZ-CASTILLO, Juan Bautista y ROLÓN-SALAZAR, José Trinidad

*Universidad Tecnológica de Tijuana*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Enrique, González-Aragón-Barrera* / ORC ID: 0000-0003-0883-7481, CVU CONACYT ID: 340204

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Juan Bautista, Marquez-Castillo* / ORC ID: 0000-0001-8123-9707, CVU CONACYT ID: 880296

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *José Trinidad, Rolón-Salazar* / ORC ID: 0000-0003-4246-8683, CVU CONACYT ID: 342893

DOI: 10.35429/JTO.2019.12.3.7.12

Recibido 29 de Octubre, 2019, Aceptado, 10 de Diciembre, 2019

#### Resumen

Todo sistema eléctrico, sea de pequeña o gran demanda, ocupa ser diagnosticado para determinar su grado de eficiencia, costo y calidad en cuanto a energía eléctrica se refiere. Para ello, se requiere de varias variables y condiciones en los equipos para verificar su desempeño. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar un sistema eléctrico industrial y determinar áreas de mejora en dicho sistema abordando parte de esas variables. La metodología a llevar a cabo para poder medir dichas variables es a través del uso de un equipo analizador de redes eléctricas monitoreando el perfil de consumo de tal instalación durante un período de 24 horas, para luego hacer un análisis de los datos medidos y así tener un buen diagnóstico de dicho sistema. Cabe mencionar que existen también otros equipos como la cámara termográfica para hacer análisis de puntos calientes que puedan orientar a predecir una posible falla a futuro, pero en este caso, se enfocará exclusivamente en el uso del equipo analizador de redes eléctricas. De esta manera se planea contribuir al mantenimiento de los dispositivos eléctricos y a la mejora de la eficiencia energética, teniendo así ahorros económicos y ayudando a reducir la huella de carbón.

**Sistema eléctrico, monitoreo, mantenimiento**

#### Abstract

Every electrical system, either with small or big demand, needs to be diagnosed in order to determine its efficiency and quality degree as far as electric energy is concerned. Wherefore several variables and conditions are required about the equipment in order to verify its performance. The present work has the objective to evaluate an industrial electrical system in order to determine improvement areas in such system addressing part of these variables. The methodology used to measure such variables, is with the use of an electrical network analyzer, monitoring the consumption profile of such installation during a period of 24 hours, thereafter, making an analysis of the measured data in order to diagnose such a system. It is important to mention that there exist also other equipment such as the thermo-graphic camera in order to detect hot spots in the electrical installation that may lead to predict a possible failure in the future, but in this particular case, it will be focused on the electrical network analyzer equipment only. In this way, it is planned to contribute in the maintenance of the electrical devices and to the improvement of the energetic efficiency, having this way economic savings and helping to reduce the carbon footprint as well.

**Electrical system, monitoring, maintenance**

**Citación:** GONZÁLEZ-ARAGÓN-BARRERA, Enrique, MARQUEZ-CASTILLO, Juan Bautista y ROLÓN-SALAZAR, José Trinidad. Análisis de un sistema eléctrico industrial o comercial. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2019 3-12: 7-12

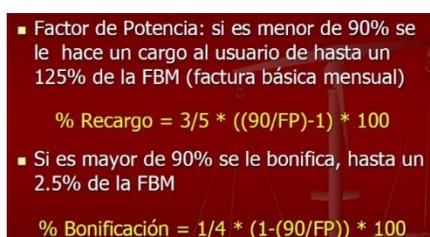
\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: eglzab@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Un Sistema eléctrico puede constar de varios componentes dependiendo del tipo de sistema que se esté hablando y que puede ir desde una subestación eléctrica, que las hay de varios tipos y tamaños, hasta una instalación de un edificio. Cualquiera que sea dicho sistema, se requiere mantener el servicio sin interrupciones ni fallas, por lo que es imprescindible monitorear varios parámetros que servirán como indicativos de su desempeño. Dado que, si no se conoce el comportamiento de operación de cualquier sistema eléctrico, nunca se podrá identificar los parámetros que se encuentren fuera de rango y consecuentemente hacer un diagnóstico que permita realizar acciones preventivas o correctivas en el mantenimiento de los mismos. Esto permite aumentar la disponibilidad y continuidad de la energía eléctrica, disminuyendo el costo de reparación en caso de presentarse alguna falla.

Se presentará un caso de estudio donde con la simple observación de las tendencias en potencias real, aparente y reactiva dadas en kW, kVA y kVAR respectivamente, se obtendrá un espectro del comportamiento y perfil de consumo del sistema eléctrico. Con lo cual es posible detectar oportunidades de mejora o simplemente la detección de fallas dentro de dicho sistema. Para lo cual se usará un equipo analizador de redes, el cual se describe en el apartado de metodología. Con la información recabada, se pueden trazar patrones de potencia del sistema de alimentación eléctrica de una planta industrial, el porcentaje de carga del transformador principal y sobre todo el comportamiento en cualquier instante del famoso “factor de potencia”, el cual puede generar multas por parte del proveedor de la energía eléctrica. Que, en el caso de la Comisión Federal de Electricidad, este tiene un límite del 90%, y para calcular dicho cargo, usa las fórmulas de la figura 1.



**Figura 1** Fórmulas de recargo y bonificación del factor de potencia normalizada por C.F.E

El equipo monitoreado es un transformador de 2MVA, tipo pedestal con voltajes primarios y secundarios de alimentación de 13.2kV -0.480/0.277kV en conexión Delta-Estrella.

## Metodología

El equipo por utilizar para este estudio será el analizador de calidad de la energía eléctrica trifásica Power Pad modelo 3945 del fabricante AEMC. El cual cuenta con transformadores de corriente cuyas características básicas son su capacidad de medición de corriente en Amperes. Y pueden ser de tipo flexible o de tipo gancho teniendo un rango de 5 a 3000 Amperes. Así mismo tiene puntas de prueba para voltaje con capacidad de 15 a 960 volts. Con esto se permite hacer configuraciones para poder monitorear sistemas en delta a tres hilos o sistemas estrella a cuatro hilos.

Otra capacidad básica del equipo es que permite programar los tiempos de monitoreo, desde varios segundos hasta días, semanas o meses de funcionamiento una vez instalado en el devanado secundario del transformador.

El primer paso es la medición de variables eléctricas conectando el equipo analizador de la energía eléctrica al devanado secundario del transformador y programándolo para grabar datos de corriente, potencia, factor de potencia cada minuto durante 24 horas.

El segundo paso, es descargar la información grabada por el equipo y hacer el análisis de los datos comenzando con el perfil de consumo de corriente eléctrica, luego el de las potencias para luego seguir con el factor de potencia, la energía consumida, el comportamiento del voltaje de línea, la tendencia del factor K del transformador y la carga máxima del transformador basado en el valor de dicho factor.

Finalmente, en base al análisis de los datos, hacer una propuesta.

## Resultados

Con fecha de 29 de junio de 2009 se procedió a monitorear por un tiempo aproximado de 24 horas un transformador de 2MVA, perteneciente a una planta industrial.

De acuerdo a la figura 2, donde se presenta la tendencia de corriente en amperes, el usuario puede verificar en pantalla el valor del amperaje en cualquier hora desde las 3:10pm del 29 de junio hasta las 3:04pm del 30 de junio del año en cuestión.

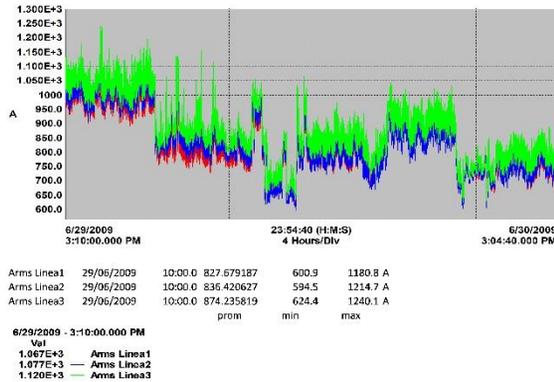


Figura 2 Comportamiento de la corriente en función del tiempo en secundario del transformador de 2MVA

Se tiene aquí un dato muy importante para poder observar el comportamiento del sistema y saber el desbalanceo de fase que fue calculado en el diseño eléctrico preliminar de la planta industrial. Este dato es importante ya que al tener programado un estudio de termografía se debe tomar la lectura en el tiempo donde se observa el mayor incremento en la demanda de energía eléctrica.

El segundo parámetro en observación son las potencias principales del sistema, que son:

- Potencia real [kW]
- Potencia reactiva [kVAR]
- Potencia aparente [kVA]

Los datos anteriores según la figura 3 auxiliará para saber la demanda máxima consumida y tener un valor comparable con el recibo mensual que presenta la Comisión Federal de Electricidad, recordando que el sistema se encuentra bajo una tarifa horaria en media tensión de consumo de energía eléctrica. Aquí la máxima demanda que se registró es de 814.4 kW representando un 45.2% de la capacidad del transformador.

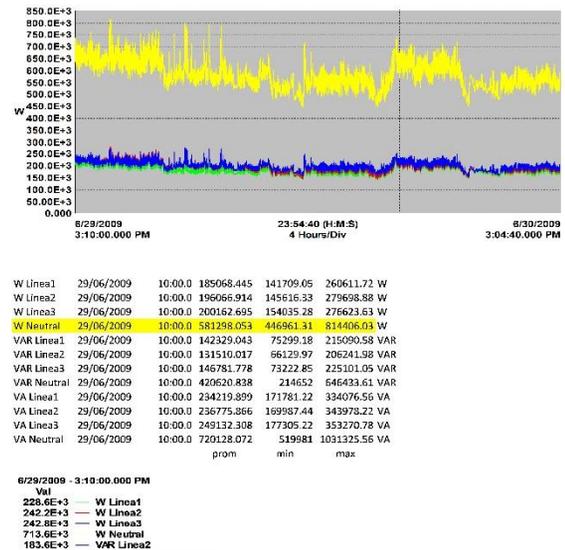


Figura 3 Tendencia de potencias en el secundario del transformador de 2MVA

En la figura 4 se está representando el comportamiento del sistema en cuanto al factor de potencia, que debe ser revisado por la empresa de suministro de energía eléctrica teniendo el usuario que mantenerlo mayor del 90%

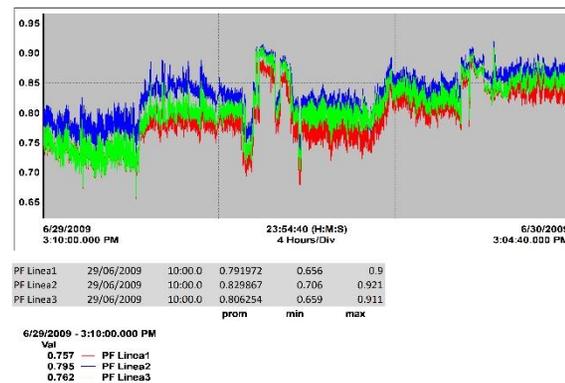


Figura 4 Tendencia del factor de potencia en el alimentador principal

Se observa en la figura 4 que el factor de potencia promedio es de:

- Fase 1 = 0.79
- Fase 2 = 0.82
- Fase 3 = 0.80

Aquí se deberán tomar medidas para la corrección correspondiente del bajo factor de potencia de acuerdo con las diferentes técnicas de compensación de energía reactiva. Se mencionarán a continuación los efectos en un sistema eléctrico industrial cuando se tiene un bajo factor de potencia:

- Se utiliza más combustible para generar la energía eléctrica en las plantas de generación de CFE.
- Los equipos eléctricos son más grandes, por lo tanto, más costosos, como interruptores, transformadores, cables, tuberías, tableros, etcétera.
- Se incrementa las perdidas por  $I^2R$ , por concepto de pérdidas por calor en la instalación eléctrica.
- Se paga multa a la compañía suministradora.

Para obtener el factor de potencia real durante las 24 horas de monitoreo se requiere realizar un cálculo muy sencillo que se muestra en la figura 5.

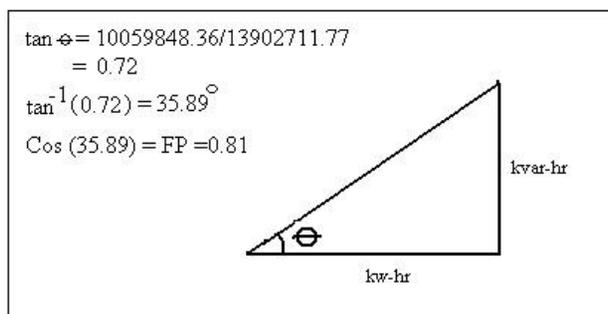
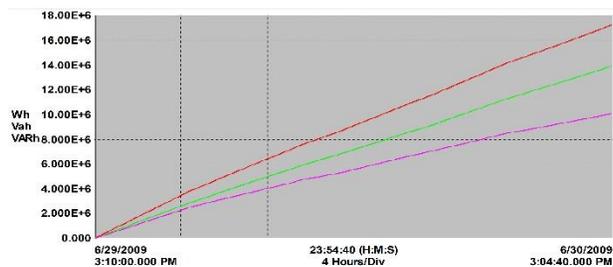


Figura 5 Cálculo del factor de potencia real

De acuerdo con los datos obtenidos de la gráfica de la figura 6 (energía consumida), los datos necesarios serán los siguientes:

13,902.71kWh  
10,059.84kVARh

Por lo que se encuentra por debajo del 90%, de acuerdo con las fórmulas de CFE en la figura uno.



W-hora Neutral	29/06/2009	10:00.0	13902711.8 Wh
VA-hora Neutral	29/06/2009	10:00.0	17223063 Vah
VAR-hora Neutr	29/06/2009	10:00.0	10059848.4 VARh

Figura 6 Energía consumida en kWh, kVAh, kVARh

La tendencia observada en la figura 7 describe la variación del voltaje de línea en el transformador de 2MVA, por lo que se deberá poner atención en no tener un desbalanceo cercano al 5%, (IEEE Std 141-1993, Red Book, Cap. 3), ya que se afectarían equipos eléctricos como los motores de inducción (ver figura 8).

Por lo general, según el espectro, el voltaje se reduce al nominal al inicio de cada jornada de trabajo. Por lo que es importante conocer en cualquier instante de tiempo la fluctuación de esta principal variable.

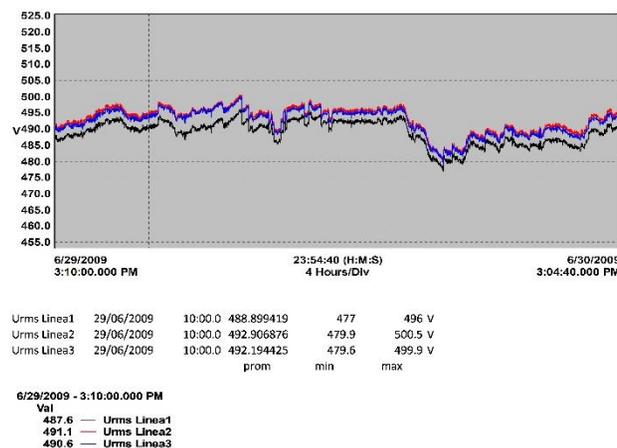


Figura 7 Tendencia del voltaje de línea (480V) en el secundario del transformador

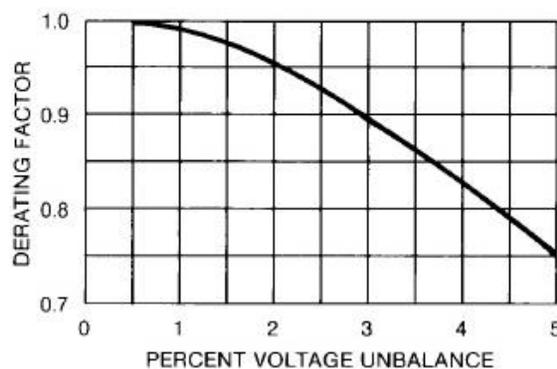
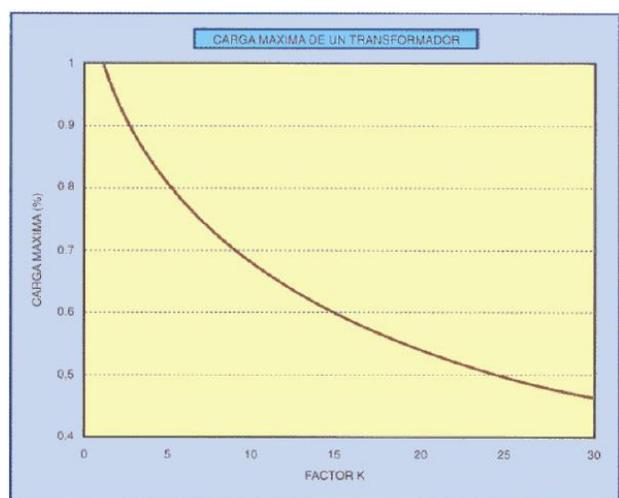


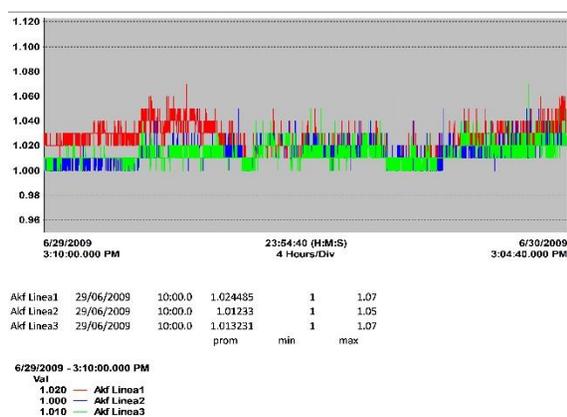
Figura 8 Factor de reducción de potencia por desbalance de voltaje en motores de inducción trifásicos  
Fuente: IEEE Std. 141-1993, Red Book

Por último, se tiene el factor K, esta variable indica la máxima carga que soporta un transformador en función del factor K, el cual aumenta con el incremento de las corrientes armónicas inyectadas al sistema eléctrico. Para comprender mejor su comportamiento se puede observar la curva representada en la figura 9, en donde a modo de ejemplo, la gráfica muestra que, si el valor de K es 15, entonces la máxima corriente que soporta un transformador es 0.6 veces la nominal.



**Figura 9** Carga máxima de un transformador en función del factor K

En el caso del transformador monitoreado (figura 10), se indica un factor K aproximado de uno, por lo que se puede trabajar arriba del 98% de la capacidad sin que el transformador tenga aumento de temperatura.



**Figura 10** Tendencia del factor K en el transformador de 2MVA

## Conclusión

Con las mediciones anteriormente descritas se conoce con más detalle la operación del transformador de 2MVA, y se puede saber cuál es el horario donde la demanda máxima llega al punto más alto durante el día laboral, por lo cual se recomienda programar en un futuro un estudio de termografía en esos horarios con la finalidad de detectar puntos calientes y, por ende, posibles riesgos de seguridad.

Se corroboró que el factor de potencia atrasado se encuentra por debajo de los límites permitidos por la CFE, por lo tanto, se recomienda realizar un estudio más detallado por tableros eléctricos para la compensación de energía reactiva.

Con los datos de desbalance de corrientes se encontró una oportunidad de mejora para poder balancear las cargas monofásicas en los tableros secundarios y disminuir el desbalanceo de cargas eléctricas, además de conocer el desbalanceo de voltajes para tomar acciones preventivas y evitar el daño en los equipos eléctricos.

Con el dato obtenido de  $K=1$ , prácticamente está mostrando la habilidad total del transformador para manejar las cargas de corrientes no lineales sin calentamiento anormal.

## Referencias

Ávila, M. S. S., Carrillo, J. A. T., Rocha, F. N., García, G. E., de Ávila Armenta, E., López, V. C.,...& Gutiérrez, A. L. H. (2019). Análisis para el Procesamiento y Control de un Ventilador Industrial.

Chico, A. J. A., Galarza, J. O., Monar, C. C., & Rendón, E. J. (2019). Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo para un interruptor de media tensión utilizando LabVIEW. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*.

Francisco Rey Sacristán (1976), *Manual de mantenimiento de máquinas y equipos eléctricos*, Ediciones CEAC, S.A.

IEEE Recommended practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, ISBN 1-55937-333-4, 1994, "Red book, IEEE".

Mark W. Earley, P.E. (2005), *National Electrical Code Handbook, Tenth Edition*, NFPA.

Navarro Chávez, J. C. L., Ortega, D., Odette, V., & Díaz Pulido, A. (2019). La Eficiencia del Sector Eléctrico en México 2008-2015. *Análisis económico*, 34(85), 71-94

Paul Gill (2009), *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing*, CRC Press LLC.

Prof. Mack Grady (2007), *Fundamentals of Electric Power Systems*, Dept. of Electrical & Computer Engineering, University of Texas at Austin.

Roger C. Dugan, Mark F., McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty (2004), 2nd. Edition "Electrical Power Systems Quality. Ed. McGraw-Hill.

Ropero, L. N., García, P. I. A. P., & Díaz, M. J. L. (2019). Diseño y Construcción de un Sistema Domótico Controlado por el PLC Logo V8! E InTouch Design And Construction Of a Domotic System Controlled By The Logo Plc V8! E InTouch.

The Electrical Engineering Handbook (2000), CRC Press LLC.

Villanueva, P., & Francisco, J. (2019). Evaluación del comportamiento de voltajes y corrientes armónicas para la mejora del control en un alimentador de media tensión-casa de concesionaria de un sistema de distribución.