

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A QUALITY ANALYZER EQUIPMENT
FOR ELECTRIC POWER****DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO ANALIZADOR DE CALIDAD
DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**PhD. Omar Pinzón Ardila, Esp. Mario Iván Useche Gamboa
Esp. William Leonardo Rodríguez Galvis**

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería Electrónica.

Bucaramanga, Santander, Colombia, Tel.: 57- 6796220, Ext. 595.

E-mail: omar.pinzon@upb.edu.co, mario.gamboa@correo.upbbga.edu.co

Abstract: This paper designs a computer capable of monitoring the grid and measure major disturbances that affect a network. The prototype is based on an embedded system type Via Epia-MS, a data acquisition card, probes (voltage and current) and developed a software tool using Matlab Data Acquisition. The graphical interface produces a user friendly environment for viewing and handling. On the other hand, the system allows the user to submit a report which shows the time of occurrence of disturbances in the grid.

Keywords: Sags, Swells, Flickers, Armónicos.

Resumen: En este trabajo se diseña un equipo capaz de monitorear la red eléctrica y medir perturbaciones importantes que afectan una red. El prototipo se fundamenta en un sistema embebido tipo Via Epia-MS, una tarjeta de adquisición de datos, sondas de medición (tensión y corriente) y se desarrolla un software utilizando la herramienta Data Adquisición de Matlab. La interfaz gráfica produce un entorno amigable al usuario para la visualización y el manejo del equipo. Por otro lado el sistema permite entregar un reporte al usuario donde muestra la hora en que ocurrieron las perturbaciones en la red eléctrica.

Palabras clave: Huecos de tensión, sobretensión, parpadeos, armónicos.

1. INTRODUCCIÓN

En el país la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) espera dentro de los supuestos de largo plazo desarrollar el concepto del Uso Racional de la Energía (URE), en particular haciendo énfasis en el análisis riguroso de calidad de energía como un aspecto importante que se debe reglamentar la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) para dar cumplimiento al uso racional de la energía. Por otro lado, muchos equipos de medida de calidad de energía ingresan al mercado Colombiano pero este tipo de tecnologías impiden la modificación o adaptación de las técnicas de

medida dado que son tecnologías de tipo propietario. Por lo tanto, se crea la necesidad de comprender a fondo los conceptos que rodean estos desarrollos para mejorar la integración con equipos existentes o diseñar nuevos equipos que se adapten a las necesidades del entorno industrial del país.

Actualmente los equipos para el análisis y medida de calidad de energía son equipos de alta tecnología con un coste elevado. Sin embargo, la reducción de costos, principalmente, en hardware hace viable que se estudie e implante este tipo de equipos en los centros de investigación local.

2. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Para diseñar un analizador de calidad de energía eléctrica es necesario tener en cuenta cuales son las perturbaciones más importantes que se necesitan medir en el medio donde se va a emplear, es por esto que se debe tener en cuenta las normas regulatorias que dan los parámetros de diseño y de medida para elaborar un analizador de calidad de energía eléctrica.

En este proyecto se escogen las siguientes perturbaciones para la construcción del equipo de medida: Huecos de tensión (*Sags*), Sobretensiones transitorias (*Swells*), Parpadeos (*Flickers*) y Análisis armónico se la señal de tensión y de corriente.

Ya teniendo claro cuáles son las perturbaciones que se van a medir, se debe realizar un análisis de la normativa (CREG 024-2005) y (CREG 016-2007) impuesta por la Comisión de Reguladora de Energía y Gas, seguir sus recomendaciones para conseguir un equipo que cumpla con los requerimientos nacionales de medición de perturbaciones.

2.1 Análisis y diseño (Sags)

La norma (CREG 024-2005) cita lo siguiente: “Un *sag* es una fluctuación de tensión caracterizada por producir una depresión transitoria de tensión respecto de la onda estándar, en un punto del SIN.

Se considera un *sag*, el hundimiento con una duración de 0.5 ciclos a 1 min, con una magnitud igual o menor del 90% del valor *rms* de la onda (CREG (024-2005))”

En la Fig. 1 se muestra el algoritmo de medición donde se adquiere la señal por medio de un sistema de adquisición de datos el cual se explica más adelante. Además se debe seleccionar el nivel de tensión donde se van a medir las perturbaciones.

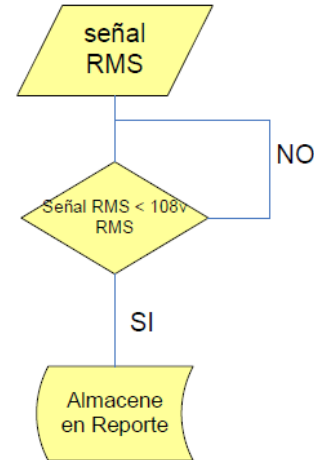


Fig. 1: Comparación 120V RMS.

En la Fig. 2 se aprecia la generación de reporte. Una vez obtenida esta comparación se realiza un proceso en donde se inicializa la medida del tiempo del *Sag* hasta su finalización y se entrega un reporte al usuario indicando el tiempo de inicio, el tiempo final y su magnitud (IEC61000-2-2, 2002).

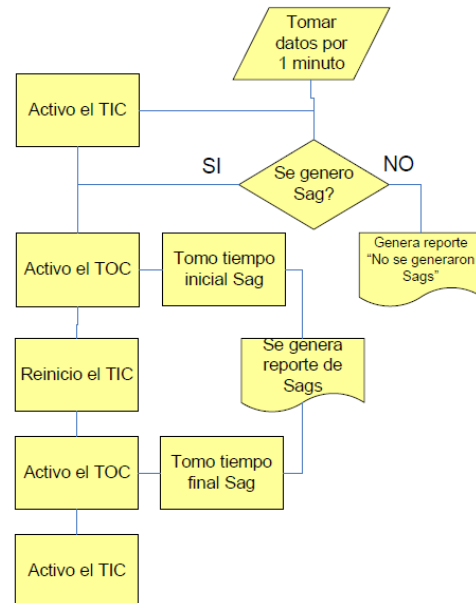


Fig. 2: Generación de reporte.

En la Fig. 3, se aprecia la GUI diseñada en donde se hace la selección de los parámetros de medición del *Sag*.

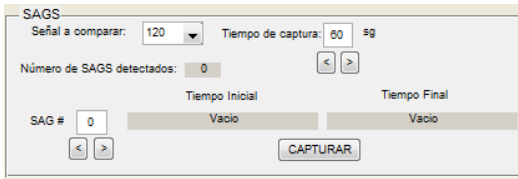


Fig. 3: GUI Sag.

2.2 Análisis y diseño (Swell)

En los *swells* la recomendación de la norma (CREG 024-2005) es la siguiente: “Un *swell* es la fluctuación de tensión caracterizada por producir un aumento transitorio de tensión respecto de la onda estándar, en un pulso del SIN. Se considera un *swell* a los picos de tensión entre 0.5 ciclos y 1 min, con una magnitud por encima al 10% del valor RMS de la onda (CREG (024-2005))”. Teniendo en cuenta la sugerencia de la norma se elabora una comparación entre la señal RMS adquirida por el equipo con respecto a un valor teórico y se aplica el algoritmo desarrollado. En la Fig. 4 se aprecia el algoritmo de comparación desarrollado para el análisis de *swell*.

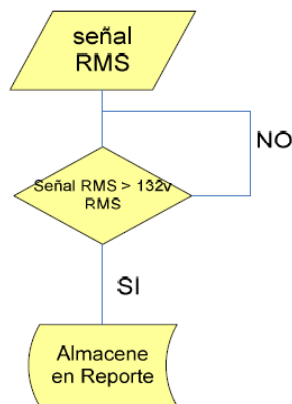


Fig. 4: Comparación 120V RMS.

Una vez se obtiene el valor del bloque de comparación de la señal se emplea un algoritmo de medición del tiempo inicial, tiempo final y magnitud de la perturbación *swell*, este algoritmo de medición sigue la misma metodología para la medición de forma similar a los *Sags* (IEC61000-4-30, 2003). Ver Fig. 2.

En la Fig. 5, se aprecia la GUI de los *swells*, el cual permite la variación de los parámetros de tiempo de análisis de la red, la variación de los diferentes niveles de tensión en los que se puede hacer la medición y además de esto se puede llevar un reporte de las diferentes detecciones de *swells* durante el periodo de medición.

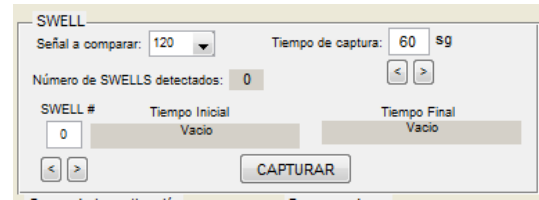


Fig. 5: GUI medición de Swells.

2.3 Análisis y diseño (Flickers)

La norma (CREG 024-2005), con respecto a *Flickers* recomienda: “*Flicker* es la impresión de inestabilidad de la sensación visual causada por un estímulo luminoso, cuya luminosidad o distribución espectral fluctúa en el tiempo. El *flicker* es medido por un indicador de la perceptibilidad de un equipo o sistema, ante fluctuaciones de tensión durante un periodo de tiempo corto (10 minutos), obtenido de forma estadística a partir del tratamiento de la señal de tensión. La forma de calcularlo se define en el estándar IEC-61000-4-15, este periodo de tiempo corto es llamado (Pst) (CREG (024-2005))”.

Una vez obtenida la tensión en el equipo se desarrolla el siguiente algoritmo que se aprecia en la Fig. 6.

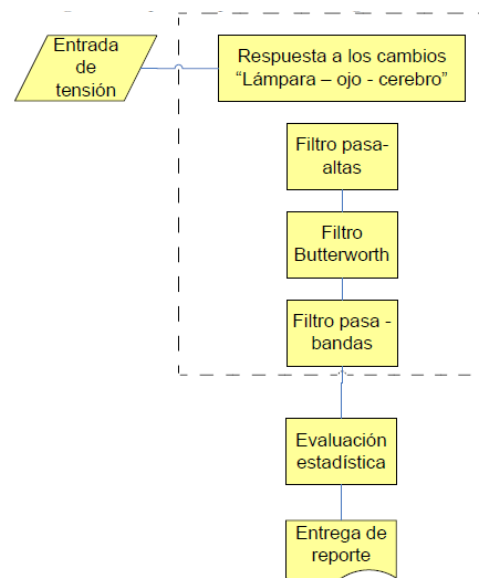


Fig. 6: Medición de Flickers.

La primera parte de este algoritmo es la aplicación de una serie de filtros. El primer filtro, consiste en un filtro pasa altas de primer orden con una frecuencia de corte de -3 dB alrededor de 0,05Hz, tiene como finalidad eliminar las componentes de corriente continua de la señal de entrada (IEC61000-4-15, 2003).

El segundo filtro es un filtro *Butterworth* de sexto orden, con una frecuencia de corte de -3 dB de 42Hz, que se emplea para eliminar el rizado de alta frecuencia de la salida del demodulador que se produce al multiplicar la señal de entrada al demodulador por ella misma (IEC61000-4-15, 2003).

El tercer filtro, es un filtro pasa bandas, el cual emula la reacción humana ante las variaciones del flujo luminoso con frecuencia central de 8.8Hz, descrito por el estándar IEC 61000-4-15 con la siguiente función de transferencia:

$$f_{(s)} = \frac{K\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} * \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{\left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_4}\right)} \quad (1)$$

Una vez aplicados estos filtros a la señal, se elabora un análisis estadístico de percentiles. Teniendo estipulado los valores acumulados de frecuencia, el nivel de la impresión momentánea (*Flicker*), se evalúa con la ecuación 2.

$$P_g = \sqrt{0.0314P_{0.1g} + 0.0525P_{1.0g} + 0.0657P_{3.0g} + 0.28P_{10g} + 0.08P_{50g}} \quad (2)$$

El método de evaluación es un método suavizado donde se determinan los siguientes valores:

$$\begin{aligned} P_{0.1:g} &= P_{0.1} \\ P_{1.0:g} &= \left(\frac{1}{3}\right)(P_{0.7} + P_{1.0} + P_{1.5}) \\ P_{3.0:g} &= \left(\frac{1}{3}\right)(P_{2.2} + P_{3.0} + P_{4.0}) \\ P_{10:g} &= \left(\frac{1}{5}\right)(P_{6.0} + P_{8.0} + P_{10} + P_{13} + P_{17}) \\ P_{50:g} &= \left(\frac{1}{3}\right)(P_{30} + P_{50} + P_{60}) \end{aligned}$$

Una variable más importante para evaluar los fenómenos de parpadeo, es provista por el nivel de flicker de largo plazo Plt (Schlabach-2000).

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N P_{sti}^3} \quad (3)$$

Para esta evaluación, los altos niveles de flicker son especialmente evaluados. El período de tiempo de observación en este caso es generalmente 2h

(N=12). El Plt se determina a partir de un intervalo de medición de deslizamiento (Schlabach-2000). La ventaja es la transferencia directa de las fluctuaciones de tensión de diversas formas y amplitudes a un número de evaluación.

En la Fig. 7, se muestra la GUI diseñada para el análisis de *Flickers*.

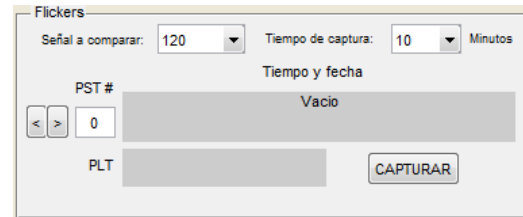


Fig. 7: Análisis de *Flickers*.

2.4 Análisis y diseño (Armónicos)

La norma (CREG 024 - 2005), recomienda acerca de THDV lo siguiente: “Es un indicador de la Distorsión Armónica Total de la Tensión, respecto de la onda estándar, expresada en porcentaje.

La forma de calcularlo se define en el estándar IEEE 519 [1992] (CREG (024-2005))”. Para obtener el THDV es necesario sacar las componentes armónicas del sistema. En la Fig. 8 se aprecia el diagrama de bloques del algoritmo a seguir para obtener el THDV.

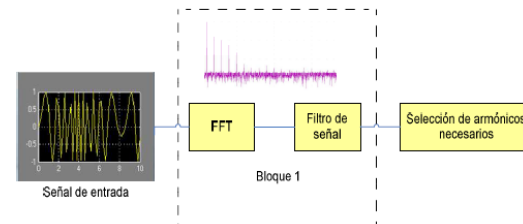


Fig. 8: Obtención de Armónicos.

Una vez adquirida la señal, esta es procesada con un transformada rápida de Fourier (FFT) se aplica un filtro en donde se obtienen las componentes armónicas de la señal adquirida y por último se seleccionan las componentes armónicas múltiplos de la frecuencia fundamental hasta obtener el armónico cuarenta (Arrillaga, 1985). Las componentes interarmónicas no se tienen en cuenta para el análisis de armónicos.

En la Fig. 9 se aprecia el algoritmo que se emplea para el cálculo de THDV y el factor de distorsión.

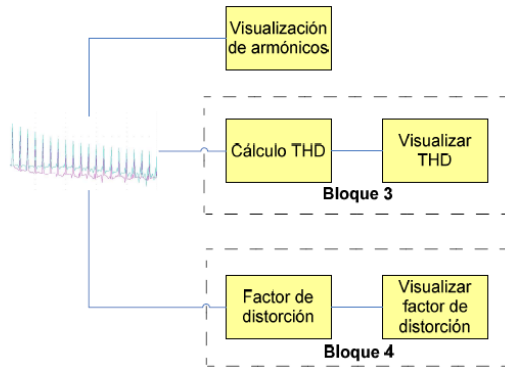


Fig. 9: Análisis del THDV.

El valor de la distorsión armónica total, es la relación entre el valor eficaz de todos los términos correspondientes a las frecuencias distintas de la fundamental y el valor eficaz del término correspondiente a la frecuencia fundamental (Arrillaga, 1985).

La ecuación 4 se muestra la ecuación para obtener el THDV:

$$\%THDV = \frac{\sqrt{I_{arm_{rms}}^2 + I_{dc}^2}}{I_{fundamental_{rms}}} * 100 \quad (4)$$

Por último se calcula el factor de distorsión (FD) que indica la reducción del factor de potencia en presencia de armónicos en el sistema (Arrillaga, 1985).

Se calcula por la siguiente ecuación:

$$FD = \sqrt{\frac{1}{1 + (THDV)^2}} \quad (5)$$

En la Fig. 10 se aprecia la GUI diseñada para la visualización y análisis armónico en el equipo.



Fig. 10: GUI armónicos.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA EXPERIMENTAL

El prototipo obtenido consta de seis módulos, los cuales se conjugan en un solo sistema de medición empotrado. El primer módulo está conformado por las sondas de medición de corriente y de tensión. (Ver fig. 11 y 12).

Sondas de tensión: La sonda DP 120 de *FLUKE* es una sonda de tensión diferencial para realizar mediciones de alta tensión, algunas características de medición son: 600V categoría III y 1000V categoría II. También las características de máxima tensión diferencial dinámica son: 1000VCC, 1000V eficaces, 1200V (CC+CA pico).



Fig. 11: Sonda de tensión FLUKE DP 120

Fuente: <http://us.fluke.com/fluke/usen/Accessories/est-Leads-Probes-anClips/DP120.htm?PID=55940>

Las sondas de corriente: *FLUKE* 80i-110s son una sondas de corriente de CA/CC de tipo pinza amperimétrica, diseñada para reproducir formas de onda de corriente en sistemas comerciales e industriales modernos de distribución de energía eléctrica. Los rangos de corriente medidos son: 0 a 100A CC o CA máximo.



Fig. 11: Sonda de corriente FLUKE 80i-110s.

Fuente: <http://us.fluke.com/fluke/usen/Accessories/CurrentClamps/80i-110s.htm?PID=55352>

Luego se tiene el módulo de filtrado de la señal. Esta tarjeta se compone de seis canales en donde llega la señal a un conector BNC, luego pasa por una etapa de amplificación de señal, empleando el integrado AD 8031, este integrado ofrece un rendimiento de alta velocidad con 80MHz de ancho

de banda de pequeña señal. La baja distorsión y rápido tiempo de estabilización, lo hacen ideal como un amortiguador ADC.

Luego de pasar por la etapa de amplificación, la señal se envía a una etapa de filtrado, empleando un integrado LTC 1569-7, el cual es un filtro pasa bajo de orden 10, con fase lineal.

La alta selectividad junto con su fase lineal en la banda de paso lo hace adecuado para la filtración, tanto en comunicaciones de datos y sistemas de adquisición de datos. Ver Fig. 13.

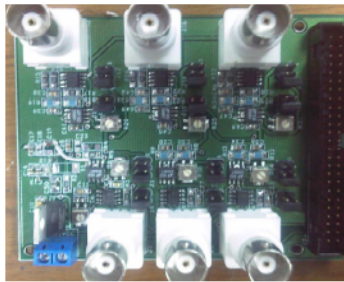


Fig. 13: Tarjeta de acondicionamiento de señal

En el módulo tres se encuentra la tarjeta de adquisición de datos DAS 6036 *Measurement Computing*, esta tarjeta posee 16 canales A/D a una resolución de 16 bits, una velocidad máxima de muestra de 200KS/s, dos canales D/A de 16 bits a 10KS/s, entre otros.

El motivo de selección de esta tarjeta se basa en los drivers que se encuentran en la *Data Adquisición Toolbox* de Matlab para tener una excelente comunicación entre el software y el hardware. Ver Fig. 14.



Fig. 14: Tarjeta de adquisición de datos.

Fuente: <http://www.mccdaq.com/pci-data/acquisition/PCIDAS6036.aspx>.

En el cuarto módulo se encuentra la tarjeta de procesado donde se emplea una Via Epia MS, esta tarjeta es de bajo coste, pero con el rendimiento necesario para el excelente funcionamiento del equipo. La Via Epia MS dispone de un procesador de 1 GHz, con un consumo de energía

extremadamente bajo y un funcionamiento silencioso. Esta tarjeta ofrece un rendimiento mejorado digital a través del chipset VIA con CLE266 integrada VIA UniChrome 2D/3D y un acelerador de gráficos de un archivo MPEG-2. Ver Fig 15.



Fig. 15: Tarjeta VIA epia MS.

Fuente: http://www.via.com.tw/en/products/mainboards/downloads.jsp?motherboard_id=281.

El último módulo es la visualización del equipo desarrollado, para este prototipo se utiliza una pantalla *touch screen* Mimo, dando una visualización agradable e interactiva con el usuario del equipo. Ver Fig 16.



Fig. 16: Pantalla Mimo.

Fuente: <http://www.mimomonitors.com/>

Por último se aprecia el equipo desarrollado por el grupo de investigación EPER de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. (Ver Fig. 17).



Fig. 17: Equipo desarrollado.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizan las diferentes perturbaciones en una red eléctrica y se miden las más importantes, desarrollando el algoritmo de medición de cada una de estas sujetas a las normativas nacionales e internacionales para desarrollar un equipo de bajo coste y con un alto nivel y capacidad de medición.

Se implementó una plataforma experimental robusta, capaz de ejecutar de forma adecuada todos los algoritmos propuestos, cumpliendo con normas de compatibilidad electromagnética y seguridad industrial, para así obtener un equipo de desarrollo capaz de adaptarse a la industria colombiana.

Con el desarrollo del equipo analizador de la calidad de la energía eléctrica, se deja abierta la posibilidad de una nueva actualización dependiendo de las modificaciones en las reglamentaciones y estándares de calidad que se presenten en el futuro.

REFERENCIAS

- Akagi, H. (1996) *Trends in active power line conditioner*. IEEE Transactions on Power Electronic.
- Akagi, H., Watanabe, H. and Aredes, M. (2007). *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*. New York. IEEE Press.
- Arrillaga, J., Bradley, D. A., and Bodger. P. S. (1985). *Power System Harmonics Analysis*. Jhon Wiley and sons.
- Arrillaga, J, Watson , N, R, and Chens , S. (2000). *Power System Quality Assessment*. Jhon Wiley and Sons.
- Schlabach. J, Blume. D, S. (2000). *Voltage Quality in Electrical Power Systems*. The Institution of Engineering and Technology.
- EN-50160. (1996). *Características de la Tensión Suministrada Por Las Redes Generales de Distribución*, UNE.
- IEC61000-1-1. (1992). *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and Interpretation of Fundamental Definitions and Terms*, Technical Report IEC - 61000-1-1. IEC.
- IEC61000-2-2. (2002). *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment – Compatibility Levels for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signalling in Public Low-Voltage Power Supply Systems*, International Standard 61000-2-2. IEC.
- IEC61000-4-30. (2003). *International Standard IEC 61000-4-30, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques power quality measurement methods*. IEC.
- IEEE Std 519-1992. (1992). *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System*. IEEE.
- IEC61000-4-15 (2003). *Compatibilidad electromagnética (CEM) –Parte 4 Técnicas de ensayo y medida. Sección 15. Medidor de Flicker*.
- CREG (024-2005). *Norma de calidad de potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica*.