

# Monitorización de anomalías transitorias eléctricas.

## Detección y aislamiento de impulsos y muescas eléctricas



Roberto Moreno-Sánchez  
Ciro Alberto Núñez-Gutiérrez  
Nancy Visairo-Cruz  
José de Jesús Lira-Pérez

Maestro en Ingeniería Eléctrica  
Dr. en Ciencias en Ingeniería Electrónica  
Dra. en Ciencias en Ingeniería Electrónica  
Dr. en Ingeniería Eléctrica

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ. Facultad de Ingeniería. Colonia Zona Universitaria. Manuel Nava, 8 - 78290 San Luis Potosí (México). Tfn: +52 444 8173381. [nvisairoc@uaslp.mx](mailto:nvisairoc@uaslp.mx)

Recibido: 10/01/2012 • Aceptado: 04/06/2012

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4573>

### MONITORING OF TRANSIENT ELECTRICAL PHENOMENA

#### Detection and isolation of electrical impulsive transients and notches

#### ABSTRACT

• The use of electrical power quality analyzers in industrial applications is essential in order to monitoring the features of the power electric used and determining which implications have in the process and the billing. However, those equipments require of a kind of setup to measure in steady state and other one when is required to measure transient phenomena. In this paper, a detection and isolation method of transient phenomena is developed, whose principal virtue is its simplicity compared with others options, derivative which, it is possible keep the measurements of steady state at the same time that the monitoring of transients, allowing having an integral knowledge of the electrical power quality.

• **Keywords:** Electric power quality, impulsive transients, notches, detection and isolation of anomalies.

#### RESUMEN

El uso de analizadores de calidad de la energía eléctrica en aplicaciones industriales es esencial para monitorizar las características con las cuales se está usando la energía y así determinar qué implicaciones tiene en el proceso y en la facturación. No obstante, estos equipos requieren de un tipo de configuración para mediciones en estado permanente y de otro cuando se requiere medir anomalías transitorias de duración menor a medio ciclo de red. En este artículo, se desarrolla un método de detección y aislamiento de impulsos y muescas eléctricas, cuya principal virtud es su simpleza comparada con otras opciones, derivado de lo cual, es posible mantener las mediciones de estado estable al mismo tiempo que la monitorización de anomalías transitorias, lo que permite, desde un punto de vista de ingeniería, una evaluación integral de la calidad de la energía eléctrica.

**Palabras clave:** Calidad de la energía eléctrica, impulsos eléctricos, muescas eléctricas, detección y aislamiento de anomalías.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la electricidad es el recurso más utilizado. Su aplicación es muy variada, va desde sistemas simples de iluminación hasta aplicaciones de gran capacidad de potencia y complejidad. Todas estas aplicaciones tienen como objetivo obtener productos o servicios de acuerdo a especificaciones establecidas y la garantía de un suministro eléctrico estable y continuo es indispensable. Es por esto, que la monitorización de la calidad de la energía eléctrica ha llegado a ser un factor muy importante en los últimos años, tanto desde el punto de vista del consumidor como de la compañía suministradora.

Para realizar un buen análisis de la calidad de la energía, es necesario que el equipo de monitorización permanezca conectado al menos ocho días. Los equipos actuales, durante este lapso de tiempo, son capaces de capturar una cantidad muy importante de eventos tales como sags, swells, fluctuaciones de tensión, armónicos, potencias, energías, factor de potencia, etc. [1]–[3].

No obstante, si es necesario detectar y registrar anomalías transitorias, los analizadores de calidad de la energía eléctrica (ACEE) portátiles se deben programar de manera diferente a la configuración de estado estable [1]. Por lo tanto, es incompatible ejecutar ambas clases de mediciones al mismo tiempo. En este artículo, estas anomalías transitorias consideran impulsos y muescas eléctricas (del inglés “*impulsive transient*” y “*notch*” definidas en [4] y [5]) y que para monitorización de la calidad de la energía son tratadas en la recomendación de la IEEE en [6].

Por otro lado, en la literatura técnica se han presentado diferentes clases de algoritmos que permiten detectar casi cualquier clase de perturbación. Una forma muy utilizada es a través de métodos como son la *transformada wavelet* y la *transformada rápida de Fourier* que generan información en el plano tiempo-frecuencia y frecuencia-amplitud, respectivamente, combinadas con sistemas expertos [7] y [8]. La *transformada wavelet* detecta muy bien transitorios, sin embargo, suele fallar en el caso de variaciones cortas y largas (tales como *sags* y *swells*, especialmente si no tienen forma rectangular). También, para detectar toda clase de transitorios se requiere de descomposiciones de gran escala hasta el 4° nivel o incluso el 6° de la *transformada wavelet* [9] y [10], lo que incrementa sustancialmente el esfuerzo computacional y por lo tanto, el costo asociado a su programación.

Otros trabajos usan una combinación de *transformada wavelet* con *redes neuronales* [11], lo que da buenos resultados con descomposiciones de 4° nivel. Sin embargo, aunado a la complejidad se tiene una alta dependencia de la experiencia del programador.

El trabajo desarrollado en [12] muestra una gran variedad de perturbaciones que se pueden detectar. El inconveniente es que se necesita un procesamiento múltiple de las señales de entrada, ya que se utilizan 6 algoritmos diferentes entre los cuales están la *transformada rápida de Fourier* (TRF), la *transformada discreta de Fourier* (TDF), la *transformada wavelet*, los métodos estadísticos, la estimación de densidades espectrales y las *redes neuronales artificiales*. Para el caso de identificación de transitorios eléctricos se utiliza la *transformada wavelet* y para determinar su amplitud las *redes neuronales artificiales*. La complejidad de este algoritmo lo hace computacionalmente costoso y el programador debe contar con una amplia experiencia.

También, hay trabajos que proponen la integración de una *transformada wavelet* de alto nivel de descomposición combinado con filtros de respuesta infinita al impulso (IIR por sus siglas en inglés) en un ACEE y demuestran su capacidad para detectar todos los tipos de perturbaciones, pero requieren de una frecuencia de muestreo superior a 140 kHz y una amplia capacidad de procesamiento [13]-[15].

Otros trabajos desarrollan métodos de morfologías matemáticas que, aplicados al caso de calidad de la energía eléctrica, requieren de ajustes en coeficientes y ganancias haciéndose dependiente de la selección de estos parámetros. Además, para cada perturbación se requiere una estructura diferente [16].

En [17] se presentan mejoras al método de morfologías matemáticas incorporando el de valores RMS. Sin embargo, éste tiene limitaciones para clasificar distorsiones específicas en las formas de onda, ya que en el algoritmo es necesario sintonizar un filtro digital.

Cada uno de los métodos antes mencionados tiene ventajas y desventajas dependiendo del tipo de perturbaciones a detectar. Sin embargo, no están enfocados para ser usados en un ACEE portátil para monitorizar anomalías transitorias.

Con el objetivo de ampliar las posibilidades de una medición integral de la calidad de la energía eléctrica, usando algoritmos simples que no consuman grandes recursos digitales, en este trabajo se presenta un método en el dominio del tiempo para la monitorización de anomalías transitorias. Este método no necesita la sintonización de ningún tipo de parámetro y se basa en operaciones matemáticas simples, lo que lo hace atractivo para ser programado con recursos digitales mínimos en un ACEE portátil. La principal contribución del método propuesto es que, por su simpleza inherente, puede detectar anomalías transitorias con las mismas muestras que se requieren para mediciones en estado estable de 8 días o más, por lo que puede obtenerse un panorama completo de la monitorización de la calidad de la energía eléctrica sin incrementar los recursos digitales.

Para mostrar el método, este artículo está organizado como sigue: en la Sección 2 se presentan los métodos de medición en estado estable de un ACEE portátil específico. Se evidenciará que con éstos no es posible detectar transitorios eléctricos y mediciones en estado estable simultáneamente, aunque el ACEE portátil sí mide transitorios si la configuración se establece para ese objetivo. Posterior a esto, se presentará el método propuesto por los autores. En la Sección 3 se discuten resultados de simulación con casos representativos que demuestran el alcance del método propuesto, considerando señales de tensión con perturbaciones simultáneas tales como: impulsos, muescas eléctricas, distorsión armónica y ruido blanco. Finalmente, en la Sección 4 se desarrollan las conclusiones de este trabajo resaltando las características del método propuesto.

## 2. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE ANOMALÍAS DE LA RED ELÉCTRICA

Para ilustrar las ventajas del método de monitorización propuesto, en esta sección se toma como plataforma comparativa el método usado por un ACEE portátil comercial y después se desarrolla el método propuesto.

### 2.1. MÉTODO DE MEDICIÓN EN ESTADO ESTABLE DE UN ACEE

La forma de procesamiento de los datos capturados está basada principalmente en el método RMS [1], [4], [6] y [18], con las características que a continuación se describen.

Para realizar los cálculos, el ACEE portátil toma 1024 muestras por cada 10 ciclos de la señal bajo medición (60 ó 50 Hz), [1].

Se definen dos periodos de procesamiento: el periodo de cálculo (PC), que representa 10 ciclos de la onda bajo estudio y el periodo de integración (PI), que es definido por el usuario y puede ir desde 1 segundo hasta 15 minutos. En cada PC se realizan los cálculos que se muestran en la Tabla I.

Parámetro calculado de la fase p	Fórmula utilizada
Tensión de fase eficaz (V)	$U_p = \sqrt{\frac{1}{1024} \sum_{i=1}^{1024} u_{p_i}^2}$
Corriente de fase eficaz (A)	$I_p = \sqrt{\frac{1}{1024} \sum_{i=1}^{1024} i_{p_i}^2}$
Potencia activa (W)	$P_p = \frac{1}{1024} \sum_{i=1}^{1024} (u_{p_i} * i_{p_i})$
Potencia aparente (VA)	$S_p = U_p * I_p$
Potencia reactiva (VAR)	$Q_p = \sqrt{S_p^2 - P_p^2}$
Factor de potencia	$PF_p = \frac{P_p}{S_p}$

Tabla I: Cálculos que realiza el ACEE portátil

Un PI contiene un conjunto de valores obtenidos de los cálculos en cada PC. Al final de cada PI se obtienen los valores máximos, mínimos y promedios de los cálculos realizados en cada PC. También, se realizan cálculos adicionales para obtener los armónicos de tensión y de corriente usando la TRF, así como la detección de eventos en tensión (*sags*, *swells* y *flickers*). Los cálculos anteriores son en estado estable para cada PI seleccionado por el usuario.

Al analizar las ecuaciones anteriores, es evidente que no es posible detectar anomalías menores a un PC de duración. No obstante, el ACEE portátil comercial permite hacerlo modificando la configuración de cálculo a fin de realizar la detección de estas anomalías transitorias exclusivamente. Lo anterior implica que no es posible tener ambas configuraciones operando de forma simultánea para identificar las anomalías de interés. Es posible que un ACEE portátil comercial incorpore ambas funciones utilizando alguno de los métodos mencionados en la introducción, pero la carga computacional, y con ello el costo, incrementan.

## 2.2. DESARROLLO DEL MÉTODO DE DETECCIÓN Y AISLAMIENTO PARA ANOMALÍAS TRANSITORIAS DE TENSIÓN

En esta sección se presenta el método para la detección y aislamiento de anomalías transitorias de tensión, el cual está basado en un factor derivativo instantáneo. La propuesta de este factor proviene de las técnicas de caracterización de señales de corriente alterna propuestas por el físico Frederick Bedell en [19].

Sea  $f_i[n] = f_i(nT)$  una función discreta donde  $nT$  es la representación discreta de  $t$ ,  $T$  es el periodo de muestreo y

$n$  es la muestra actual y que representa una señal de tensión ideal definida como:

$$f_i[n] = v_p \text{sen}(\omega nT) \quad (1)$$

donde  $v_p$  es la tensión pico,  $\omega = 2\pi f$  y  $f$  es la frecuencia de la red eléctrica.

Considérese una señal de tensión no ideal definida como:

$$f_r[n] = f_i[n] + f_h[n] \quad (2)$$

donde  $f_h[n]$  se considera como una perturbación desconocida. Por el enfoque de este trabajo, la función  $f_h[n]$  se puede considerar como cualquier perturbación de la tensión tal como distorsión armónica, *sags*, *swells*, impulsos, muescas, etc.

La idea principal es conocer la desviación de la señal real con respecto de la ideal, específicamente su duración y su amplitud. Para detectarlo, se propone el siguiente método:

Sea:

$$V_f[n] = f_r[n] - f_i[n] = f_h[n] \quad (3)$$

La función  $V_f[n]$  en , contiene como información la tensión excedente o faltante que perturba a la señal ideal.

Para determinar si la tensión es excedente o faltante, se proponen las siguientes condiciones:

Condición C1:

Si  $|f_i[n]| > |f_r[n]|$ , entonces  $V_f[n]$  es negativo. Esto es,  $V_f[n] = -|f_h[n]|$ .

Lo que indica una tensión faltante.

En caso contrario, se evalúa la condición C2:

Si  $|f_i[n]| < |f_r[n]|$ , entonces  $V_f[n]$  es positivo. Esto es,  $V_f[n] = |f_h[n]|$ .

Lo que indica una tensión excedente.

Con base en lo anterior, si  $V_f[n]$  excede los umbrales establecidos por el usuario, que pueden estar asociados a una norma, entonces se activa la etapa de detección del método. Esta etapa indica que una perturbación está presente en la red eléctrica y el proceso de registro de datos inicia.

De esta manera, con el umbral superior definido como "limit\_sup" y el inferior como "limit\_inf" se ejecuta la condición C3:

Si  $V_f[n] > \text{limit\_sup}$ , entonces el registro de datos inicia (excedente).

Si  $V_f[n] < \text{limit\_inf}$ , entonces el registro de datos inicia (faltante).

La sensibilidad de la etapa de detección para determinar que un evento ocurrió se puede ajustar a los umbrales establecidos por la curva ITIC-CBEMA mostrada en la Figura 1. Cabe destacar que esta curva [4] está referida a valores porcentuales de variación de tensión con respecto al valor nominal, y no a los instantáneos como requiere el método propuesto. No obstante, puede ser usada como una guía. Por ejemplo, es evidente que para equipo sensible

la perturbación máxima permitida es de 5 veces el valor nominal durante un tiempo de 0.1 ciclos, lo que equivale a un impulso.

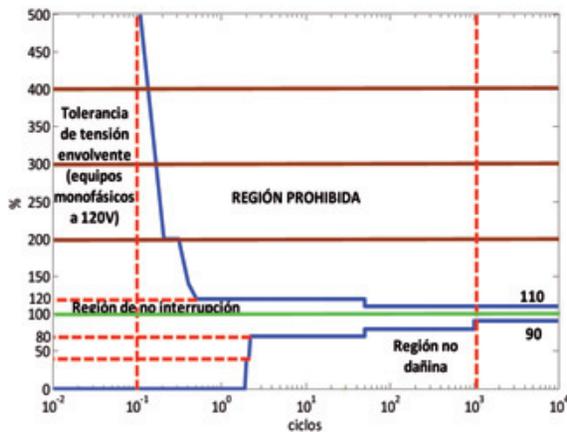


Fig. 1: Curva ITIC-CBEMA

El proceso anterior no discrimina perturbaciones de estado estable de las transitorias. Es decir, puede haber falsas alarmas debidas a armónicos que activen el registro de datos. Lo anterior significa que esta etapa del método detecta anomalías, pero no las aísla.

Para abordar este problema y tener un proceso de aislamiento de las anomalías transitorias de las de estado estable, se propone el factor derivativo dado en (4). Este factor derivativo está normalizado con respecto a la frecuencia fundamental de la red eléctrica. Lo anterior se justifica porque la derivada de la tensión de la red tiene mayor amplitud, lo que puede resultar en una saturación del sistema de procesamiento digital que se utilice. Además, al considerar la frecuencia angular como factor de normalización se garantiza que  $fed[n]$  y  $V_f[n]$  tienen amplitudes similares, lo que puede representar un mejor uso de la resolución de la etapa digital que se proponga para implementar el método.

$$fed[n] = \frac{1}{\omega} \frac{dV_f[n]}{dn} \tag{4}$$

Es importante considerar que para obtener la derivada de la señal se utilizan límites:

$$fed[n] = \frac{1}{\omega} \lim_{t_0 \rightarrow T} \frac{V_f[n] - V_f[n-1]}{t_0} \tag{5}$$

Ahora, es necesario definir los umbrales para el factor derivativo. Estos umbrales deben ser proporcionales a los umbrales de variación permitidos para la señal original establecidos en C3. Ya que la derivada de una sinusoidal con frecuencia de la red eléctrica y sus múltiplos es mayor a la señal original, la constante de proporcionalidad aquí utilizada es  $\frac{1}{\omega t_0}$ . Por lo tanto, los umbrales para el factor derivativo son:

$$\text{limit\_sup\_fed} = \frac{1}{\omega} \frac{\text{limit\_sup}}{t_0} \tag{6}$$

$$\text{limit\_inf\_fed} = \frac{1}{\omega} \frac{\text{limit\_inf}}{t_0} \tag{7}$$

Si del algoritmo presentado el resultado es un excedente, entonces significa que ocurrió un impulso eléctrico. En caso contrario, ocurrió una muesca. Lo anterior se ilustra en la Sección 3.

En la Figura 2 se muestra un diagrama de flujo del algoritmo propuesto considerando los niveles de detección y de aislamiento.

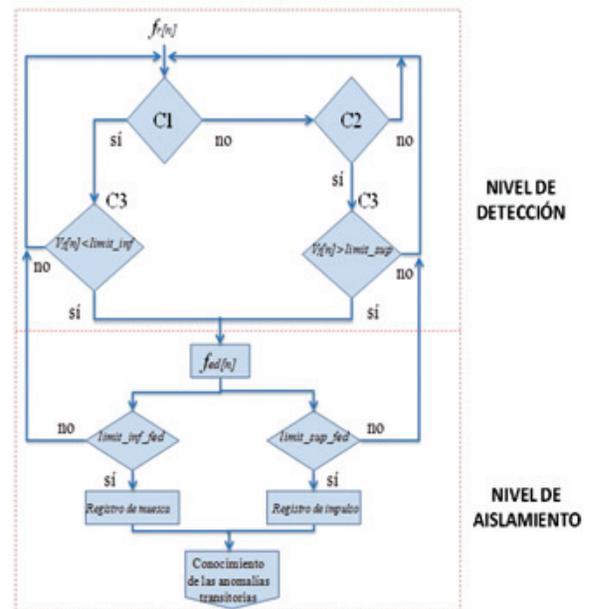


Fig. 2: Esquema del método de detección y aislamiento de anomalías transitorias

### 3. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

En esta sección se analizan simulaciones representativas de señales de voltaje perturbadas para mostrar el alcance del método de monitorización propuesto. Estas simulaciones se desarrollaron en MATLAB considerando un paso de integración fijo igual al periodo de muestreo que es de 163  $\mu$ s, es decir, una frecuencia de muestreo de 6144 Hz.

La mínima sensibilidad del algoritmo se presenta cuando la señal  $f_r[n]$  contiene armónicos de alta frecuencia que activen la etapa de aislamiento. Se muestran pruebas con distorsión armónica y otras con ruido blanco para mostrar la capacidad del alcance del aislamiento del método.

Primero considérese la señal que se muestra en la Figura 3 que contiene simultáneamente un impulso eléctrico, una muesca y perturbaciones armónicas con un quinto armónico del 10% y un séptimo del 8% con respecto a su fundamental. Lo anterior representa una distorsión armónica total (DAT) del 12.81%.

Para ilustrar el proceso de detección y aislamiento se lleva a cabo el procedimiento mostrado en la Sección 2.2. Se ejecuta la substracción que se muestra en (3) y se evalúan las condiciones C1 y C2. Obsérvese que hasta aquí aún no han sido discriminados los armónicos.

El paso siguiente consiste en establecer los umbrales de tensión permitidos para lo cual la curva ITIC-CBEMA, mostrada en la Figura 1, se usa como referencia. Con ello, se evalúa la condición C3. Estos límites se consideraron  $\pm 10\%$  del valor pico de la fundamental en cualquier grado eléctrico donde ocurra la perturbación. Si la tensión real sobrepasa estos umbrales, entonces el método inicia el proceso de detección de la anomalía.

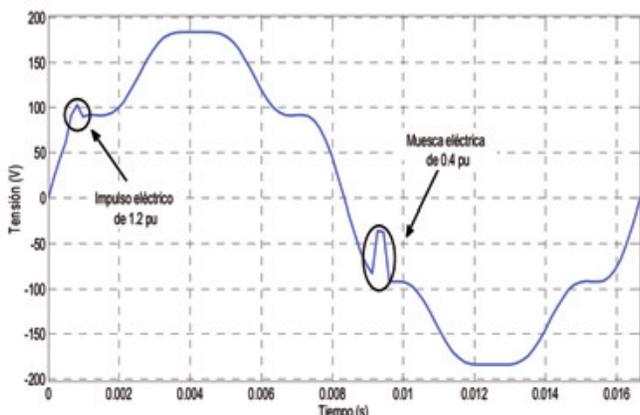


Fig. 3: Señal de tensión  $f[n]$  con impulso, muesca y contenido armónico simultáneos

La Figura 4 muestra el resultado de la ejecución de las tres condiciones C1, C2 y C3 de acuerdo al nivel de detección de la Figura 2. Es importante notar que en la Figura 4 se observan falsas alarmas además de la muesca e impulso eléctrico, lo que hace indispensable aislar los transitorios de éstas. Para ello, se pasa al nivel de aislamiento mostrado en la Figura 2.

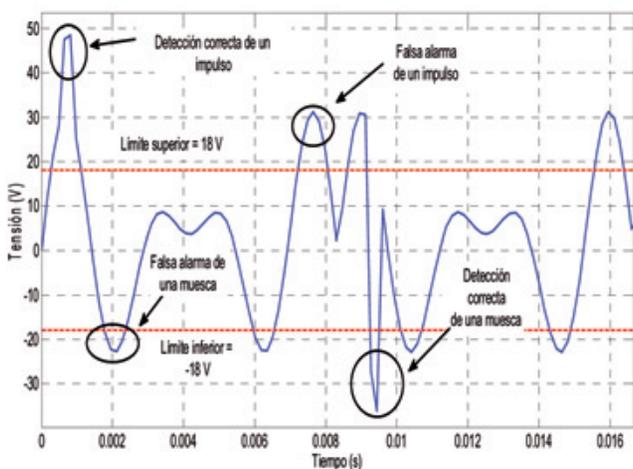


Fig. 4: Detección de anomalías fuera de los umbrales permitidos del primer ejemplo

Para llevar a cabo el proceso de aislamiento de las anomalías transitorias, el factor derivativo mostrado en (5) permite discriminar las perturbaciones armónicas de los fenómenos transitorios, ya que la derivada de un armónico de baja frecuencia es suave mientras que la del transitorio

es abrupta. El resultado se muestra en la Figura 5, donde se puede observar que el efecto de los armónicos presentes queda dentro de los umbrales establecidos sin causar falsas alarmas. Los umbrales establecidos se obtienen utilizando (6) y (7).

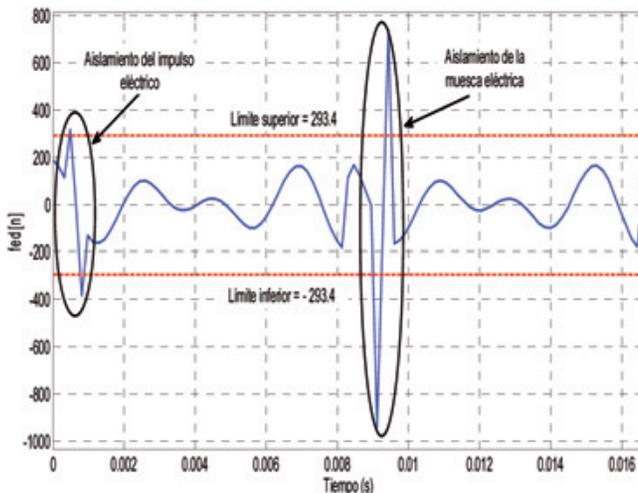


Fig. 5: Aislamiento de las anomalías transitorias del primer ejemplo

Considérese ahora un segundo ejemplo en el que, además de las perturbaciones anteriores, existe ruido con una amplitud del 3.3% del valor nominal de tensión y los armónicos individuales ahora son del 8% con una DAT del 11.31%. Generalmente, el fenómeno de ruido se presenta en frecuencias elevadas por lo que es de esperar que su efecto se vea amplificado en el factor derivativo. Para ilustrar que el método propuesto es robusto se analiza la señal mostrada en la Figura 6.

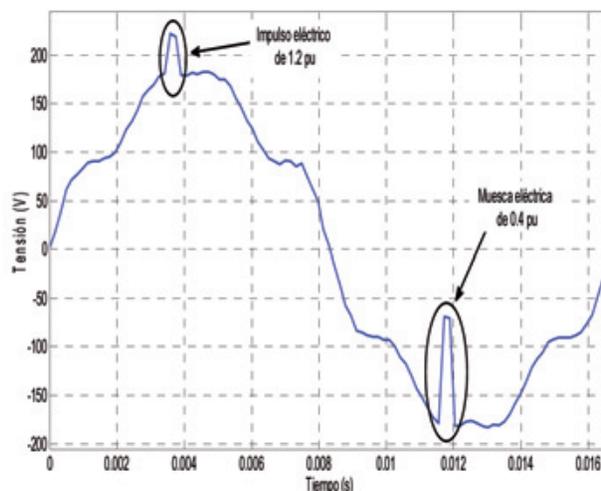


Fig. 6: Señal de tensión  $f[n]$  con impulso, muesca, contenido armónico y ruido simultáneos

En la Figura 7 se muestra el resultado hasta el nivel de detección. Se aprecia que existen falsas alarmas cuyo origen es debido tanto al ruido como al contenido armónico de la señal.

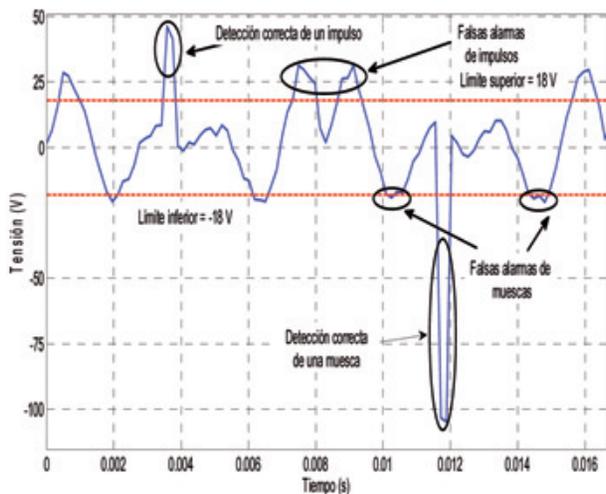


Fig. 7: Detección de anomalías fuera de los umbrales permitidos del segundo ejemplo

Para aislar los transitorios del ruido y del contenido armónico, se aplica el factor derivativo (5). El resultado se muestra en la Figura 8 donde se puede visualizar que los transitorios han sido efectivamente aislados.

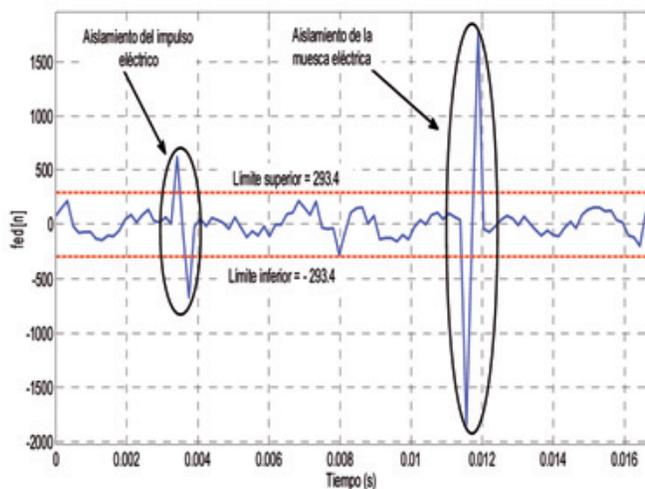


Fig. 8: Aislamiento de las anomalías transitorias del segundo ejemplo

Las simulaciones mostradas en esta sección fueron seleccionadas de una serie de resultados desarrollados en [20], ya que representan señales de voltaje con perturbaciones simultáneas que superan los límites establecidos en la recomendación americana para redes eléctricas [21].

De esta manera, se tiene un método simple de detección y aislamiento de anomalías transitorias, utilizando la misma configuración de estado estable. En consecuencia, este método se puede llevar a una plataforma digital para hacer ensayos reales.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se abordó el problema de detección y aislamiento de anomalías transitorias considerando un procesamiento matemático simple, con la perspectiva de una implementación con los recursos digitales propios de un ACEE portátil. La detección consiste en la valoración de las tres condiciones mostradas en la Sección 2.2, las cuales parten de una resta simple y el aislamiento se alcanza aplicando el factor derivativo propuesto. Se demostró que usando ambas etapas es posible detectar y aislar el fenómeno de interés, incluso cuando hay presencia de contenido armónico y ruido de forma simultánea. Cabe señalar que el método aísla transitorios que ocurran en cualquier ángulo eléctrico.

Por otra parte, ya que las operaciones son simples y se consideró el mismo periodo de muestreo que se utiliza para la detección de anomalías en estado estable, se concluye que es posible ejecutar este algoritmo al mismo tiempo que todos los que se utilizan para estado estable, sin requerir un conocimiento previo de las anomalías transitorias presentes en la red. Esto puede garantizar que un ACEE portátil tenga una operación más versátil e independiente del usuario sin crecer en recursos digitales.

Adicionalmente, este algoritmo no requiere de la sintonización de constantes ni de la transformación de coordenadas, haciéndolo autónomo de la experiencia del programador y de consideraciones de desempeño basadas en la selección de constantes. Su complejidad matemática se reduce a restas, divisiones, valores absolutos y comparaciones lógicas.

La factibilidad de detección y aislamiento del algoritmo disminuye si el tiempo de duración de la anomalía transitoria es menor al periodo de muestreo del ACEE portátil. Para los resultados presentados en este trabajo, se consideró un periodo de muestreo de 163  $\mu$ s, tiempo que está comprendido en la definición de los transitorios dada en [6]. Por lo tanto, el método propuesto cumple con la normativa correspondiente. Sin embargo, existen equipos en el mercado con tiempos de muestreo menores al utilizado lo que hace al método susceptible de mejorar sus capacidades.

Finalmente, es importante señalar que el algoritmo desarrollado tiene su principal aplicación en los ACEE portátiles para sistemas de baja tensión, en donde hay una mayor probabilidad de que ocurran este tipo de anomalías. No obstante, el método puede ser utilizado en cualquier nivel de tensión aunque a nivel de transmisión se reportan métodos más complejos.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo ha sido patrocinado en parte por el CONACYT, México bajo el proyecto SEP-84616.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] METREL. *Manual de Funcionamiento*. PowerQ4 MI2592. Versión 1.0. Horjul Eslovenia: Metrel, 2009.
- [2] HIOKI. *Power Quality Analyzer*. Versión 3197. Nagano Japon, Hioki E. E. Corporation. Enero del 2009.
- [3] Dranetz. *Power Quality Analyzer User's Guide*. Modelo 658. New Jersey, United States of America. Dranetz BMI. February 15, 1997.
- [4] Arrillaga J., Watson N. R. y Chen S. *Power system quality assessment*. Tottenham Court Road, London. Wiley. Enero 2001. ISBN: 0 471 98865.
- [5] IEEE. *The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms*. 7ª edición. United States of America. Standards Information Networks. Diciembre, 2000. ISBN:0 7381 2601 2.  
<http://dx.doi.org/10.119/IEEESTD.2000.322230>
- [6] IEEE Power & Energy Society. *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE Std 1159. New York, United States of America. IEEE-SA Standards Board, 2009. ISBN 978 0 7381 5939 3.  
<http://dx.doi.org/10.119/IEEESTD.1995.79050>.
- [7] Hasniaty, Azah M y Aini H. "Automating power quality disturbance analysis using the IPQDA software tool". En: IEEE Proceedings on 4th Student Conference on Research and Development, (SCORED2006). (Selangor Malaysia, 2006), p. 211-214.  
<http://dx.doi.org/10.119/SCORED.2006.4339340>.
- [8] Zhenghua Z, Yongqiang L, Fuqiang Z et al. "Design and data processing of a real-time power quality monitoring instrument". En: IEEE Proceedings on 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. (Guangdong Providence, China, 2009), p. 353-357. DOI: 10.1109/ICEMI.2009.5274063.
- [9] Santoso S, Powers S, Grady W et al. "Power quality assessment via wavelet transform analysis". *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1996, Vol. 11, Núm. 2, p. 924-930.  
<http://dx.doi.org/10.119/61.489353>.
- [10] He H y Starzyk J. "A self-organizing learning array system for power quality classification based on wavelet transform". *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2006, Vol. 21, Núm. 1, p. 286-295.  
<http://dx.doi.org/10.119/TPWRD.2005.852392>.
- [11] Weili H, Zixiang H y Wei D. "Neural network model-based training algorithm for transient signal analysis". En: IEEE Proceedings of the 2009 International Conference on Mechatronics and Automation. (Changchun China, 2009), p. 4007-4011. DOI: 10.1109/ICMA.2009.5246726.
- [12] Barrios Godoy R, Onefre Pereira J y Galotto Junior L. "Multiple signal processing techniques based power quality disturbances detection, classification and diagnostic software". En: IEEE Proceedings on 9th International Conference Electrical Power Quality and Utilization. (Barcelona, España 2007), p. 1-6. <http://dx.doi.org/10.119/EPQU.2007.4424176>.
- [13] Tarasiuk T. "Estimator - analyzer of power quality: Part I - Methods and algorithms". *Measurement*. 2011, Vol. 44, p. 238-247.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2010.09.049>
- [14] Tarasiuk T, Szweida M y Tarasiuk M. "Estimator - analyzer of power quality: Part II - Hardware and research results". *Measurement*. 2011, Vol. 44, p. 248-258.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2010.09.048>.
- [15] Tarasiuk T y Szweida M. "DSP instrument for transient monitoring". *Computer standards & interfaces*. 2011, Vol. 33, p. 182-190.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.csi.2010.06.010>.
- [16] Sen O y Zhen R. "Application of improved mathematical morphology method in the power quality monitoring". En: IEEE Proceedings on International Conference on Power System Technology. (Guangdong Providence, China, 2006), p. 1-6.  
<http://dx.doi.org/10.1109/ICPST.2006.321769>.
- [17] Matz V, Radil T, Ramos P et al. "Automated power quality monitoring system for on-line detection and classification of disturbances". En: IEEE Proceedings on Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC 2007). (Warsaw, Polonia, 2007), p. 1-6.  
<http://dx.doi.org/10.119/T-IMTC.2007.379104>.
- [18] METREL. *Calidad de la energía, análisis de potencia, armónicos y perturbaciones de red en sistemas trifásicos de distribución*. Código Núm. 20 750 958. Versión 1.0. Horjul Eslovenia: Metrel, 2009.
- [19] Bedell F. "Distortion Factors". Asisted by Bown R. and Swisher C. L. En: IEEE Proceedings on 39th Annual Convention of the American Institute of Electrical Engineers, (1915), Vol. XXXIV, Núm. 1, p. 1143-1157.  
<http://dx.doi.org/10.119/T-AIEE.1915.4765248>.
- [20] Moreno-Sánchez R. "Diseño de un algoritmo de detección de impulsos y muescas de voltaje en corriente alterna para análisis de calidad de la energía". Tesis de maestría. Directores: Núñez-Gutiérrez C. Visairo-Cruz N. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. San Luis Potosí, México, 2012.
- [21] IEEE Industry Application Society. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems*. IEEE Std 519-1992. New York, United States of America. ISBN 0-7381-0915-0.  
<http://dx.doi.org/10.119/IEEESTD.1993.114370>.