

CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO COMO ALTERNATIVA PARA LA MONITORIZACIÓN DE INTERRUPCIONES Y CAÍDAS DE TENSIÓN

MIGUEL ÁNGEL ÁNGEL SILVA
Ingeniero Electricista
Universidad Industrial de Santander

GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA
Profesor Titular
Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Industrial de Santander
Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica, GISEL
gaby@uis.edu.co

RESUMEN

En el presente artículo se presenta el diseño e implementación del prototipo de un equipo registrador de interrupciones y caídas de tensión, que se presenta como una alternativa de bajo costo para realizar estudios de la calidad de la onda de tensión en las redes de distribución. Este documento en primera instancia abordará algunas definiciones relacionadas con la calidad de la energía y posteriormente describirá en forma general el diseño y la construcción del prototipo que registra dos perturbaciones de la onda de tensión como son las interrupciones y las caídas de tensión. El equipo consta de un sistema de adquisición de datos y una interfaz gráfica con el usuario que permite analizar y especificar los niveles de tensión para el registro de las perturbaciones.

PALABRAS CLAVE: *Interrupciones, caídas de tensión, calidad de la energía eléctrica, perturbaciones de tensión, desarrollo de equipos, huecos de tensión, microcortes de energía eléctrica.*

ABSTRACT

This article presents design and implementation of a prototype for recording interruptions and voltage sags which is intended as a low cost alternative in order to accomplish voltage waveform quality studies in distribution systems. This paper initially deals with some definitions related with power quality and then the prototype design and construction process is described in general terms. The achieved device consists of a data acquisition system and a graphical user interface which allows analyzing and specifying voltage levels for disturbance recording.

KEYWORDS: *Interruptions, Voltage Sags, Power Quality, Voltage Disturbances, Prototype.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la calidad del servicio de energía eléctrica tiene cada vez más trascendencia, debido al incremento de los equipos que son sensibles a las perturbaciones de las ondas de tensión y corriente; por lo cual, los usuarios o clientes que se ven afectados reclaman una adecuada

calidad del servicio. Por otra parte, las reglamentaciones actuales cada vez son más exigentes en lo relacionado a la calidad del servicio.

La calidad del servicio de energía eléctrica comprende tres aspectos esenciales: La continuidad del suministro, la calidad de la energía eléctrica y la calidad de atención

comercial al cliente. La continuidad del suministro se evalúa con índices que están relacionados con la duración y el número de las interrupciones del servicio en un periodo de tiempo. La calidad de la energía eléctrica se refiere al término ampliamente utilizado en la literatura inglesa "power quality"; ésta, se valora a partir de parámetros como la amplitud, la frecuencia, la forma de onda y la simetría de las señales de tensión y de corriente. Por último, la atención comercial tiene que ver con todo lo relacionado con la capacidad de atención al cliente y con el suministro de información a los usuarios de la energía eléctrica [CEL, 2001].

La calidad de la energía eléctrica es afectada por diferentes fenómenos electromagnéticos que ocurren en las redes eléctricas. Estas perturbaciones en su mayoría son causadas por fallas, descargas atmosféricas, cargas no lineales, maniobras y operaciones en el sistema, entre otras. Según la [NTC 5000, 02] estos fenómenos se clasifican en: armónicos, fluctuaciones de tensión (Flicker), caídas de tensión (sags ó dips), sobretensiones (swells), interrupciones de tensión, muescas de tensión (notching), transitorios, desbalances de tensión y variaciones de frecuencia. Esos fenómenos electromagnéticos ocasionan daños o funcionamientos incorrectos de los elementos conectados al sistema eléctrico, que se ven reflejados en daños en los productos de un proceso, salidas del servicio de energía y/o reinicios de los procesos automatizados. La incidencia de cada uno de estos fenómenos electromagnéticos en la industria y el comercio, se ve reflejada en los costos económicos involucrados en las reparaciones de los daños y costos por la no producción de productos, entre otros.

Algunos de los fenómenos electromagnéticos que más afectan la calidad de la energía eléctrica, son las interrupciones y las caídas de tensión. Debido a esto, es necesario establecer normativas basadas en mediciones efectuadas directamente sobre los sistemas eléctricos de cada operador de red, para que éstas tengan en cuenta la ubicación geográfica de las redes, la cantidad y tipos de usuarios que atienden, la infraestructura misma de las empresas que distribuyen la energía eléctrica, y, especialmente en Colombia, su situación social; entre otras razones.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) tiene normativas acerca de la calidad de la energía eléctrica, estas normalizaciones de la serie 61000 tratan sobre principios fundamentales, definiciones, terminología, niveles de compatibilidad; límites de inmunidad y emisión, técnicas de ensayos, mediciones y pruebas a redes y a equipos. En los Estados Unidos el Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) ha desarrollado documentos relacionados con definiciones y principios de la calidad de la energía eléctrica, monitorización de sistemas eléctricos y perturbaciones momentáneas de tensión, entre otras.

En Colombia, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) mediante el reglamento de distribución Resolución [CREG 070/98] y sus modificaciones: [CREG 025/99], [CREG 089/99], [CREG 061/00], [CREG 096/00], [CREG 159/01], [CREG 084/02] y [CREG 091/04], ha reglamentado lo relacionado a la continuidad del servicio de energía eléctrica, estableciendo límites, periodos de transición y una metodología de compensación para los usuarios por el incumplimiento de los límites fijados. Para cuantificar la continuidad en Colombia la CREG ha establecido dos índices, el DES que está relacionado con la duración total de las interrupciones ocurridas y el FES que indica la cantidad de interrupciones ocurridas. En cuanto a la calidad de la potencia eléctrica en el año 2005 emitió el decreto reglamentario [CREG 024/05].

INTERRUPCIONES

Se considera que existe una interrupción cuando el valor eficaz de la tensión de alimentación cae a un valor por debajo de 0,1 p.u. De acuerdo con su duración y según la CREG pueden dividirse en instantáneas (menos de 1 minuto), transitorias (entre 1 y 5 minutos) y temporales (más de 5 minutos), (Ver Figura 1)

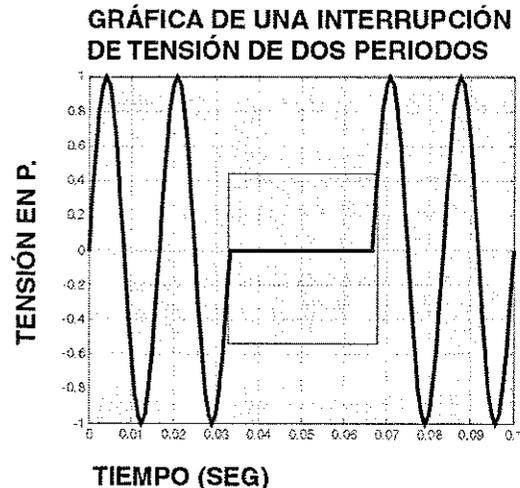


Figura 1. Interrupción del servicio de energía eléctrica
Fuente: Autores

CAÍDAS DE TENSIÓN

De acuerdo con el estándar [IEEE Std 1159, 95] y la norma colombiana [NTC 5000, 02], la caída de tensión ("sag")¹, es la reducción del valor eficaz de la tensión entre el 0,1 y 0,9

¹ En España las caídas de tensión se denominan huecos de tensión, pero la [NTC 5000,02] las definen como caídas de tensión y la resolución CREG 024/05 las llama hundimientos.

p.u. de su valor nominal, durante un tiempo que puede ir desde medio ciclo a un minuto; caracterizada a frecuencia industrial (60Hz en Colombia). En la **Figura 2** se muestra la forma de onda de una caída de tensión. Las caídas son generalmente asociadas a fallas en el sistema, pero pueden también ser causadas por energización de grandes cargas o el arranque de grandes motores eléctricos [Bollen, 2000], [Castellanos & Carrillo, 2003].

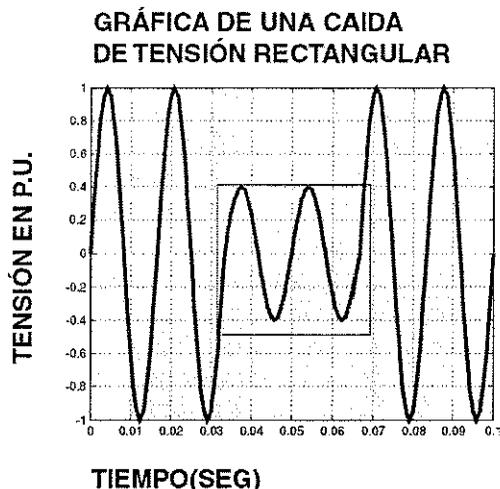


Figura 2. Caídas de tensión en valores instantáneos
Fuente: Autores

La monitorización de estas perturbaciones electromagnéticas en los sistemas de distribución de energía eléctrica sirve principalmente para analizar fallas ocurridas, determinar las respuestas de los sistemas de protección de las redes, para mejorar los modelos utilizados en el análisis y la simulación de las redes eléctricas y para establecer los criterios necesarios para la construcción de equipos destinados a la mitigación de estas perturbaciones [IEC 61000-4-30, 2003], [Arrillaga et al, 2000].

El diseño y construcción de un equipo que permita evaluar los índices de continuidad del suministro (DES y FES) y otro tipo de perturbaciones como las caídas de tensión, es de interés para la industria y las empresas del sector eléctrico, especialmente las encargadas de la distribución y comercialización de la energía eléctrica, así como para las entidades encargadas de supervisar el cumplimiento de la reglamentación existente sobre calidad del suministro, como la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

PROBLEMAS ACTUALES EN LA ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICES DES Y FES

De los estudios realizados por la Universidad Industrial de Santander (UIS) en el convenio con la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y basados en mediciones realizadas en diferentes circuitos de los

operadores de red del país, se notaron falencias en la veracidad de los tiempos y en el número de las interrupciones de energía eléctrica reportados por los operadores de red a los organismos reguladores. Además, con los medios y métodos de recolección de la información actuales se pueden omitir datos en los reportes del operador de la subestación al centro de control u oficina de calidad.

También se encontró, en algunos casos, la no congruencia entre los datos de interrupciones reportados y las compensaciones realizadas por los operadores de red a los usuarios; así como la falta de información y reconocimiento de los derechos de los usuarios acerca de las compensaciones que deben realizar las empresas de energía.

Gran parte de los operadores de red en Colombia no cuenta con los equipos adecuados y suficientes para medir y/o detectar las interrupciones del servicio; por tanto, deben contratar estos servicios, lo cual hace que el costo para llevar registro y control de estos eventos sea elevado.

Este trabajo presenta el prototipo de un equipo que registra perturbaciones de la onda de tensión como interrupciones y caídas de tensión ajustable a la normatividad colombiana y de bajo costo, con el objeto de ofrecer una herramienta útil a las empresas distribuidoras de energía eléctrica, a las empresas tanto industriales como comerciales y a las entidades encargadas de verificar el cumplimiento de los índices de calidad como lo es la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y así hacer un aporte por parte de la UIS al desarrollo de equipos de monitorización necesarios en el sector eléctrico.

EQUIPO REGISTRADOR DE INTERRUPCIONES Y CAÍDAS DE TENSIÓN

El prototipo fue diseñado y construido para utilizarse en el registro de interrupciones y caídas de tensión en sistemas trifásicos. El equipo consta de un "hardware" y una interfaz gráfica llamada "HUCOM SW" elaborada en Visual Basic 6.0. Estos componentes interactúan entre si mediante una comunicación serial directa entre el equipo y un computador. También se puede realizar una comunicación a través de la línea telefónica, por medio de un MODEM externo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL "HARDWARE"

La **Figura 3** muestra un esquema con los dispositivos principales empleados en el prototipo, así como las líneas de conexión con el computador y los otros dispositivos, con la unidad central de procesamiento (microcontrolador). Los dispositivos mostrados en la **Figura 3**, son los siguientes:(1) Batería de alimentación de 12V, que es la

encargada de respaldar el sistema en ausencia de energía eléctrica; (2) tres memorias seriales 24LC256 ó 24LC512, para almacenar en forma no volátil la información; (3) un reloj en tiempo real DS1307, encargado de llevar el conteo de tiempo en forma confiable; (4) un microcontrolador PIC16F876, que es la unidad central de procesamiento y control del equipo; (5) tres transformadores L501, que son los encargados de realizar el primer acondicionamiento de las señales de tensión y (6) una interfaz mediante un MAX232, que permite comunicar el equipo con un PC ó con un "MODEM" externo en forma serial.

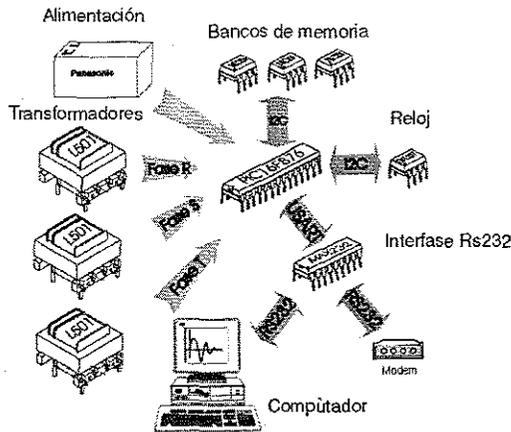


Figura 3. Esquema general del equipo de medición construido
Fuente: Autores

El equipo "HUCOM" que se muestra en la Figura 4, permite comunicarse en forma directa con el PC mediante un protocolo XMODEM 1K. En cuanto a la interfaz gráfica de la descarga de datos y la interacción con el usuario permite realizar las siguientes funciones:

- Configurar los parámetros de medición y detección.
- Actualizar la fecha y la hora.
- Descargar los datos por un puerto serie, en un formato compatible con la plataforma Excel.
- Realizar la calibración de la medida del equipo.
- Registrar interrupciones y caídas de tensión con duraciones de 1 ms en adelante.
- Tener una autonomía aproximada de 15 días.

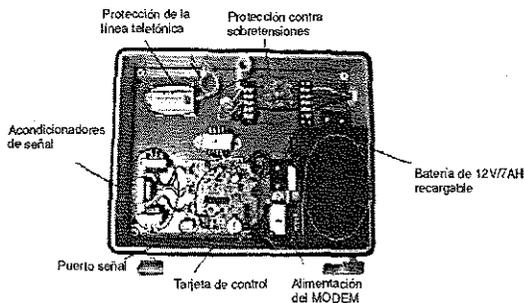


Figura 4. Fotografía del equipo HUCOM V1.3 construido.
Fuente: Autores

En el diseño del "hardware" del equipo, una de las partes más importantes es la estimación del valor eficaz de la onda de tensión y la detección de las perturbaciones.

• ESTIMACIÓN DEL VALOR EFICAZ DE LA ONDA DE TENSIÓN

Las características más importantes que deben tenerse en cuenta en un equipo que estime el valor eficaz o r.m.s. son: un acondicionador de señal con una exactitud y linealidad adecuada, un periodo de muestreo adaptativo en función de la frecuencia de la señal y un convertor analógico – digital (A/D) de la mayor cantidad de bits y velocidad de conversión. En función de estos parámetros, se debe enfocar el objetivo para la monitorización del valor eficaz de la onda de tensión.

Una vez se ha acondicionado la señal, ésta se puede convertir a un formato digital y la estimación del valor eficaz se realiza mediante acumulación discreta de las muestras de la señal. La estimación digital del valor eficaz involucra un proceso de muestreo, así como también un proceso de cuantificación y codificación de la señal. De acuerdo con la definición del valor eficaz, este valor se obtiene a partir de la ecuación:

$$V_{EFICAZ} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T |v(t)|^2 * dt} \quad (1)$$

El prototipo que se diseñó y se construyó, realiza las adquisiciones de la señal de tensión en formato digital. El número de muestras que se adquieran, dependerá de la velocidad del convertor analógico-digital (A/D) que se utilice. La tensión eficaz se evalúa a partir de las muestras adquiridas mediante la siguiente expresión:

$$V_{EFICAZ} = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (2)$$

De acuerdo con la Expresión 2, el valor eficaz en forma discreta se puede obtener de diferentes formas dependiendo de cómo se actualice el muestreo. Los tres tipos de algoritmos de estimación del valor eficaz más utilizados son: el algoritmo con un intervalo de un periodo de la onda, el algoritmo con un intervalo de medio periodo de la onda y el algoritmo con un intervalo recursivo muestra a muestra. Este último requiere de un vector de muestras de la onda y calcula el valor eficaz con una ventana deslizante por muestra, obteniendo un valor eficaz en cada muestra, tal como se observa en la Figura 5.

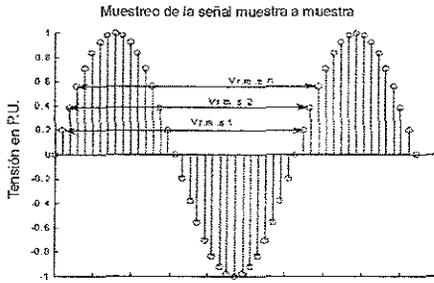


Figura 5. Formato de muestreo con actualizaciones muestra a muestra
Fuente: Autores

Una variante de este tipo de seguimiento del valor eficaz de la tensión es la monitorización utilizando un formato de adquisición de la señal muestra a muestra, con rectificación de onda completa, tal como se observa en las Figuras 6 y 7, este seguimiento permite obtener un valor eficaz con menores retardos.

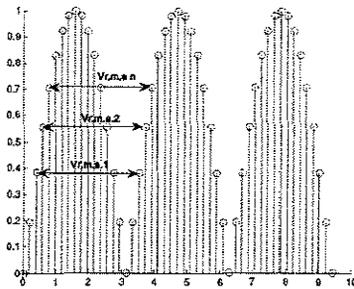


Figura 6. Formato de adquisición muestra a muestra con rectificación de onda completa
Fuente: Autores

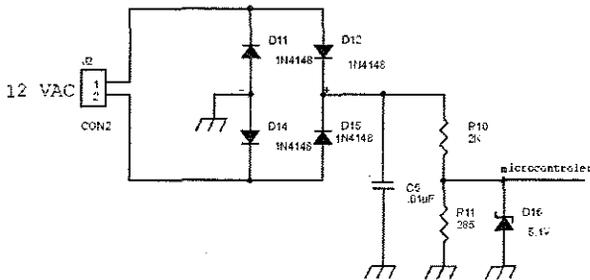


Figura 7. Circuito de adquisición de la onda de tensión
Fuente: Autores

En todas las formas de seguimiento del valor eficaz de la onda de tensión, los errores introducidos por los algoritmos de estimación de la señal y por la rectificación, son pequeños comparados con los errores debidos a los acondicionadores de la señal de tensión; cabe resaltar, que

la lectura del conversor analógico-digital debe ser lo más cercana posible a la señal a medir, tal como se observa en la Figura 8.

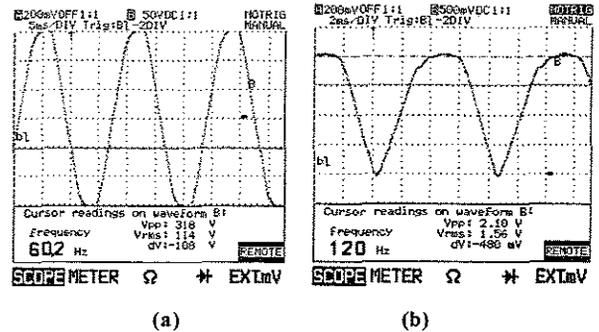


Figura 8. Oscilogramas de las ondas de tensión: a) Señal de la red, b) Señal leída por el conversor A/D del microcontrolador
Fuente: Autores

En el prototipo HUCOM V1.3, se realizaron contrastaciones con equipos de mejor exactitud como lo es el FLUKE 105 de una clase de 0,5. Los resultados obtenidos de las medidas realizadas, arrojaron porcentajes de error menores del 1%, cuando se trabajan con tensiones cercanas a la nominal y errores del 5% a tensiones menores de 5 VAC, esto debido a que los diodos de rectificación de la señal se encuentran en la zona límite de conducción y de no conducción.

En la Figura 9, se muestran los resultados de estas contrastaciones. Para propósitos de detección de interrupciones y caídas de tensión, este tipo de medición se ajusta de manera adecuada a la monitorización de estas perturbaciones, es por eso que se debe plantear un modelo de detección para cada perturbación.



Figura 9. Contraste de las mediciones del equipo HUCOM V1.3 vs. Osciloscopio FLUKE 105.
Fuente: el Autores.

• DETECCIÓN DE LAS INTERRUPCIONES Y DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN

El modelo utilizado para detectar las perturbaciones en cada una de las fases se estableció para que cumpliera con las normativas nacionales e internacionales en cuanto a la definición de la interrupción y la caída de tensión [IEC 61000-4-30, 2003]. De acuerdo con la NTC 5000, se establece que las interrupciones se presentan cuando el valor eficaz de la tensión es menor al 10% del valor nominal y las caídas de tensión son disminuciones del valor eficaz entre el 90% y el 10% de la tensión nominal.

El modelo de detección que se plantea se describe en forma gráfica en la Figura 10, en donde se establece un tiempo de falla y un tiempo de restitución. El tiempo de restitución sirve para determinar que la tensión nominal del servicio se recuperó completamente, dando fin a una falla.

La Unidad Central de Procesamiento (UCP) de la tarjeta de control para detectar en cual estado del evento se encuentra, plantea dos subrutinas que trabajan por banderas, y estas banderas se activan o se desactivan realizando comparaciones del valor eficaz con los valores límites establecidos.

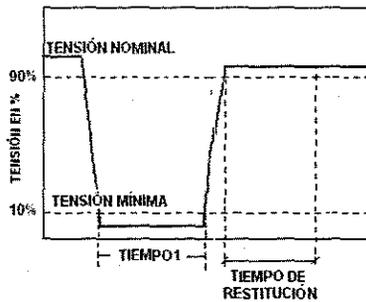


Figura 10. Modelo de registro de una Interrupción del servicio tipo rectangular
Fuente: Autores

Si se presentan varios eventos consecutivos, como se muestra en la Figura 11, se realiza un filtrado con el tiempo de restitución y para este evento se registrará una sola interrupción y un solo tiempo de falla, y el tiempo total de la interrupción será la sumatoria del TIEMPO1 y del TIEMPO2; si el tiempo de recuperación entre falla y falla duró menos tiempo que el establecido como tiempo de restitución en el equipo; de lo contrario, se registrarán dos interrupciones independientes. Al tener el tiempo de restitución como parámetro de detección de las perturbaciones, se está evitando que ruidos presentes en la señal se registren en la memoria del equipo.

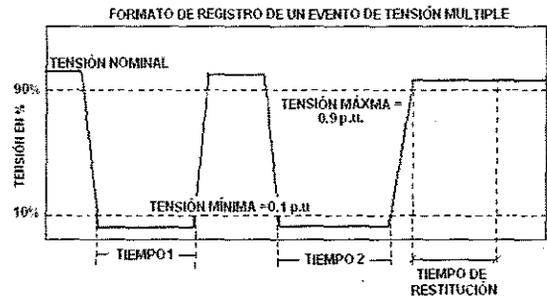


Figura 11. Modelo utilizado para identificar y registrar una falla de tensión
Fuente: Autores.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INTERFAZ GRÁFICA DEL PROTOTIPO "HUCOM V 1.3"

En el prototipo desarrollado se realizó un programa bajo la plataforma Visual Basic 6.0, que permite incorporar diferentes funciones como: calcular, configurar y analizar la información que se descarga del prototipo. Estas funciones permiten que se puedan hacer las siguientes tareas:

1. Configurar los parámetros de medición y sincronizar la fecha y la hora con el equipo PC con el cual se está comunicando.
2. Descargar los datos en una página de Excel en donde se puede acceder a las interrupciones programadas.
3. Seleccionar las fallas por tiempo como herramienta para calcular los índices DES y FES.
4. Realizar la monitorización y visualización gráfica del valor eficaz de la onda de tensión de cada una de las fases, tal como se muestra en la Figura 12.
5. Indicar los ciclos de trabajo y de carga de la batería que se tiene de respaldo del sistema.
6. Indicar en forma gráfica el nivel de ocupación de cada uno de los bancos de memoria.
7. Realizar el cálculo de las compensaciones que se deben hacer a los usuarios.
8. Comunicarse remotamente vía telefónica con el equipo de medición mediante un MODEM externo, con una velocidad de transmisión de 19 200 Baudios.

Dentro de esta plataforma se destacan dos páginas principales, una es la ventana de Estado y la segunda es la ventana de Parámetros.

• VENTANA DE ESTADO

En la página de Estado mostrada en la **Figura 12**, el usuario tiene la posibilidad de realizar la monitorización en forma gráfica del valor eficaz de cada una de las fases, el porcentaje de ese valor eficaz con respecto al valor nominal previamente establecido, se muestra la fecha y hora actual del equipo, que está determinada por el reloj en tiempo real DS1307, los ciclos de carga y de trabajo de la batería de respaldo y en esta misma ventana se muestran las interrupciones y las caídas de tensión registradas en cada uno de los bancos de memoria; así como la duración total de los mismos, mostrando el porcentaje de ocupación de la memoria que se tiene.

• VENTANA DE PARÁMETROS

En esta página que se muestra en la **Figura 13**, se pueden especificar los parámetros del puerto de comunicaciones (parámetros del puerto) y los parámetros generales para la detección de la fallas en el Hucom (parámetros del Hucom).

En los parámetros del puerto se define el tipo de comunicación que se va a utilizar, si es una comunicación serial simplemente se dará clic en el icono de comunicación serial directa al PC.

Para establecer este tipo de comunicación previamente en el PC, se debe configurar el puerto a utilizar y la velocidad de transferencia a 19200 bps. Para realizar una comunicación alámbrica por teléfono, se debe seleccionar la opción de MODEM y definir el número telefónico al cual se debe comunicar; al otro lado de la línea debe estar el equipo medición conectado a través de un MODEM externo a una línea telefónica. A diferencia de la comunicación anterior la velocidad de transferencia se ajusta automáticamente en el momento que se establece la comunicación con el destino.

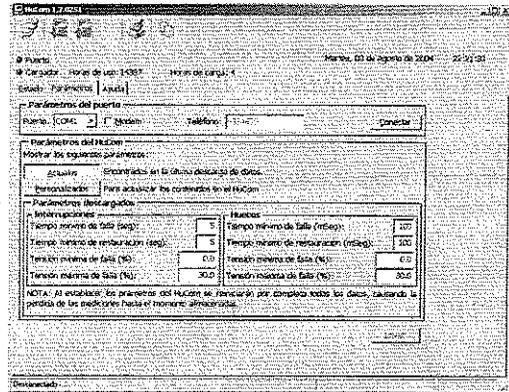


Figura 13. Ventana de ajuste de los parámetros de la medición y de la comunicación por vía MODEM. Fuente: Autores

• PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez dentro de la interfaz y establecida la comunicación con el equipo de medición, a solicitud del usuario se puede descargar la información almacenada en el equipo de medición, haciendo “clic” en botón de (Descargar datos al PC). La interfaz almacenará los datos en dos archivos; uno de respaldo en un formato de texto (.txt) y otro en una hoja de EXCEL, ² en donde se realizará el procesamiento de los datos obtenidos y el usuario también tendrá la posibilidad de filtrar la información de las interrupciones y las caídas de tensión por tiempo; así como obtener la información del costo de las compensaciones que se deben hacer a los usuarios por los índices DES o FES . En una primera hoja de Excel (ver **Figura 14**) se muestra la información de cada una de la perturbaciones que registró el equipo y sus totales en el periodo de muestreo.

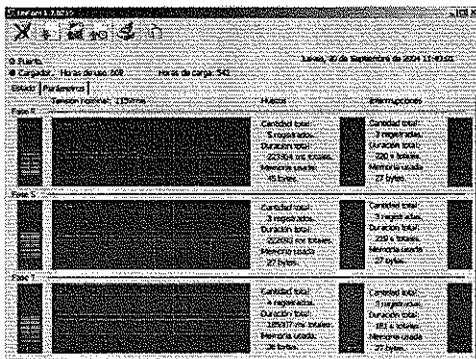


Figura 12. Ventana principal de Hucom – Ventana o ficha de estado. Fuente: Autores.

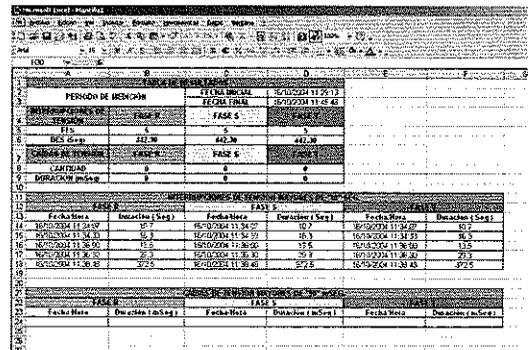


Figura 14. Hoja principal en EXCEL, en donde se descarga la memoria. Fuente: Autores.

² La plataforma de EXCEL es compatible con la interfaz, debe pertenecer a Office 2000 u Office XP de Microsoft.

En hojas de Excel se muestran los formularios necesarios para realizar las compensaciones, así como los resultados gráficos del procesamiento de los datos obtenidos. En la hoja mostrada en la **Figura 14**, se muestra el periodo de monitorización, el total de los índices DES y FES registrados en el periodo de monitorización, así como la cantidad total de interrupciones y caídas de tensión registradas. Estos valores variarán una vez se descuenten las interrupciones y caídas de tensión programadas o de fuerza mayor. Después de este pequeño resumen se mostrará el detalle

de cada uno de los eventos registrados en cada una de las fases, mostrando información del momento de inicio de la interrupción y de su duración.

Paralelamente, en otra hoja se muestran los índices DES y FES en un Barograma, comparando su valor actual con respecto al valor fijado como límite para cada una de las fases en el periodo de muestreo tal como se observa en la **Figura 15**. Estas comparaciones se realizan tanto para las interrupciones como para las caídas de tensión.

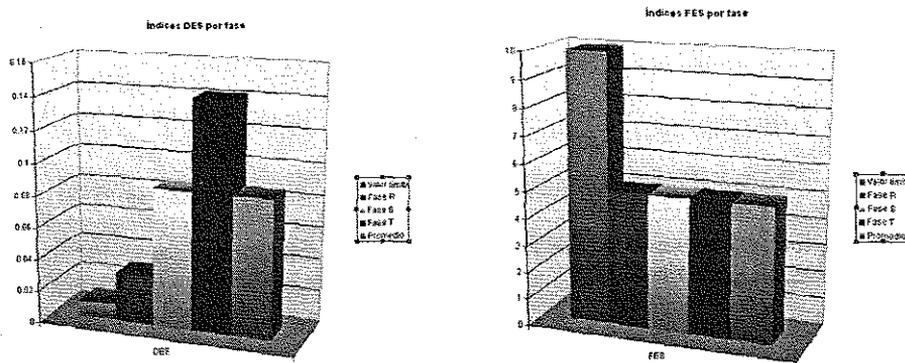


Figura 15. Formato estadístico en una hoja en EXCEL, en donde se muestran de los índices DES o FES con respecto a los límites fijados.

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

El prototipo de un equipo especializado en registrar interrupciones y caídas de tensión en un sistema trifásico fue diseñado y construido. En éste se plantearon estrategias de medición y de detección de perturbaciones, con el objeto de identificarlas y registrarlas en un equipo portátil para ser posteriormente almacenados en un computador. La comunicación se realiza en forma directa mediante un puerto serial RS232 o vía telefónica a través de un MODEM externo. Se realizó una interfaz en un ambiente gráfico, desarrollada en una plataforma de Visual Basic 6.0, que permite incorporar funciones como calcular, configurar los parámetros de medición, analizar y clasificar la información que se obtiene del prototipo, así como el cálculo de las compensaciones a los usuarios.

Este prototipo permite realizar monitorizaciones de perturbaciones como interrupciones y caídas de tensión en las redes eléctricas y se puede adaptar a los cambios que se puedan presentar en las normativas, lo cual lo hace versátil. Adicionalmente, dependiendo de la exactitud y confiabilidad requerida al realizar la monitorización, se puede configurar el prototipo estableciendo códigos de seguridad para que sólo el personal autorizado tenga

acceso a la información relacionada con compensaciones, límites de los índices de calidad del suministro de la energía eléctrica y parámetros de medición entre otras

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Arrillaga, N.R. Watson, S. Chen, "Power quality assessment", John Wiley & Sons Ltd, 2000. [Arrillaga et al, 2000]
- [2] Math H. J. Bollen : "Understanding Power Quality Problems", IEEE, 2000. [Bollen, 2000]
- [3] Castellanos Carolina y Carrillo Luz Ángela. "Caracterización de los huecos de tensión". Proyecto de Grado de Ingeniería Eléctrica. UIS, 2003. Director: Gabriel Ordóñez Plata. [Castellanos & Carrillo, 2003]
- [4] Calidad de la Energía Eléctrica CEL, Edt. Asociación Colombiana de Ingenieros, ACIEM-Cundinamarca, Bogotá, Colombia. [CEL, 2001]
- [5] Resolución N° 070 de la CREG: "Reglamento de Distribución". Mayo 28 de 1998. [CREG 070, 1998], [CREG 037,042, 2004]

- [6] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61 000-4-30. “*Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-30: Testing and measurements techniques- Power quality measurements methods*”. 89 p., Geneve, Switzerland, 2003. [IEC 61000-4-30, 2003]
- [7] IEEE Standards coordinating committee 22 on power quality, USA. “IEEE Std 1159-1995: IEEE Recommended practice for monitoring electric power quality”, IEEE Standards boards 1995. [IEEE 1159, 95]
- [8] Norma Técnica Colombiana 5000: “Calidad de la potencia eléctrica (CPE). Definiciones y términos fundamentales”, Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), 2002; [NTC-IEC 61000-1,1, 2000] Norma Técnica Colombiana – IEC 61000-1-1: “Compatibilidad electromagnética. Parte I: Generalidades. Sección I: Aplicación e interpretación de definiciones y términos fundamentales”, Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), 2000. [NTC 5000, 02]
- [9] Resoluciones y reglamentaciones CREG [CREG 070/98] y sus modificaciones: [CREG 025/99], [CREG 089/99], [CREG 0.61/00], [CREG 096/00], [CREG 159/01], [CREG 084/02], [CREG 091/04] y [CREG 024/05].

AUTORES

Miguel Ángel Ángel Silva: Ingeniero Electricista U.I.S. 1999; profesor de Universidad Pontificia Bolivariana (Bucaramanga) e integrante del Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Magíster en Ingeniería, Área Ingeniería Electrónica de la Universidad Industrial de Santander (2005).

Gabriel Ordóñez Plata: Ing. Electricista UIS (1985) Doctor Ingeniero Industrial Universidad Pontificia Comillas (1993), profesor de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, actualmente es el Director del Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL).