

Diseño y construcción de un prototipo de medición de los indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica (DES y FES) para usuario residencial

Robin A. Peña*, Víctor A. Gómez**, Cesar Hernández***

Resumen

En el siguiente artículo se presenta el diseño y la construcción de un prototipo para la medición de los indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica, el cual posee la capacidad de medir la discontinuidad en el servicio con base en un sensor de presencia de voltaje que genera estados lógicos en su salida para que, de esta manera, el algoritmo diseñado en lenguaje de alto nivel C e implementado en el microcontrolador PIC18F2550, pueda registrar los eventos ocurridos trimestralmente. El prototipo está constituido principalmente por una pantalla de cristal líquido, un microcontrolador, una memoria externa y un reloj de tiempo real. Este medidor se caracteriza, entre otros, por tener un bajo costo de funcionamiento, una memoria amplia para el registro de los eventos y una gran precisión a la hora de medir la duración de las interrupciones.

Palabras clave: DES, FES, calidad del servicio, sensor, microcontrolador, memoria, reloj de tiempo real.

Design and construction of a measuring prototype for energy service's quality indicators (DES and FES) for residential consumers

Abstract

This article shows the design and the construction of a prototype to measure quality indicators in electric energy services, measuring the discontinuity in the service by using, as a base, a

voltage sensor which generates logic states in the output, so the algorithm designed in high level C language and implemented in the PIC18F2550 micro-controller can register the events that take place every three months. The prototype consists, mainly, in a liquid crystal screen, a micro-controller, an external memory and a real time clock. This measurer has a low running cost, a wide memory to register the events and a great precision to measure the duration of the interruptions.

Palabras clave: DES, FES, service quality, sensor, micro-controller, memory, real time clock.

Desenho e construção de um protótipo de medição dos indicadores de qualidade do serviço de energia elétrica (DES e FES) para usuário residencial

Resumo

No seguinte artigo se apresenta o desenho e a construção de um protótipo para a medição dos indicadores de qualidade do serviço de energia elétrica, o qual possui a capacidade de medir a descontinuidade no serviço com base num sensor de presença de tensão que gera estados lógicos em sua saída para que, desta maneira, o algoritmo desenhado em linguagem de alto nível C e implementado no micro-controlador PIC18F2550, possa registrar os eventos ocorridos trimestralmente. O protótipo está constituído principalmente por uma tela de cristal líquido, um micro-controlador, uma memória externa e um relógio de tempo real. Este medidor se caracteriza,

* Tecnólogo Electricista y estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

** Tecnólogo Electricista y estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

*** Ingeniero Electrónico, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones y docente de la universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Correspondencia: Cesar Hernández. e-mail: cahernandez@udistrital.edu.co

Artículo recibido: 02/05/2010; Artículo aprobado: 3/12/2010

entre outros, por ter um baixo custo de funcionamento, uma memória ampla para o registro dos eventos e uma grande precisão à hora de medir a duração das interrupções.

Palavras importantes: DES, FES, qualidade do serviço, sensor, micro-controlador, memória, relógio de tempo real.

Introducción

El avance de la tecnología actual [1] [2] hace que la mayoría de equipos eléctricos y electrónicos de uso domestico e industrial sean más vulnerables a variaciones de los parámetros fundamentales de funcionamiento. En tal sentido, la continuidad en el suministro del servicio de energía eléctrica se convierte en un parámetro importante de estudio. En la regulación actual, un usuario está sujeto a los indicadores que informa el comercializador a través de la factura, y consecuentemente a la compensación económica que se calcula con base en estos indicadores [3], es decir, no conoce con certeza si en el transcurso de un trimestre la calidad del servicio por el que paga ha sido inferior a la reglamentada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Por otra parte, el costo elevado de los equipos actuales de medición hace que sean inaccesibles para un usuario residencial, además, no existe en el mercado un equipo de medición que contenga las características necesarias para el registro trimestral de los indicadores de calidad, que brinde soporte al suscriptor residencial para

exigir su compensación si se han superado los valores máximos.

En relación con el proyecto, éste se inició con la selección de la tecnología que se va a implementar y la recopilación de la información. Se seleccionó un microcontrolador de gama alta de Microchip (PIC18F2550), debido a su versatilidad, alto nivel de procesamiento, capacidad de memoria suficiente, puertos análogos-digitales, comunicación Universal Serial Bus (USB), buena disponibilidad en el mercado y bajo costo [5]. Para el diseño del algoritmo se utilizó el compilador CCS C (PIC C Compiler), por la facilidad en cuanto a las herramientas para las interfaces con dispositivos externos como un reloj de tiempo real (DS1302), una pantalla de cristal líquido (LCD) y una memoria externa EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory) [6]. Posteriormente, se procedió al diseño del sensor de voltaje, basados en la teoría de los dispositivos semiconductores. Por último, se diseñó la etapa de la alimentación autónoma del prototipo. En la figura 1 se ilustra un diagrama en bloques del diseño del prototipo, en donde se pueden apreciar los módulos que constituyen el mismo.

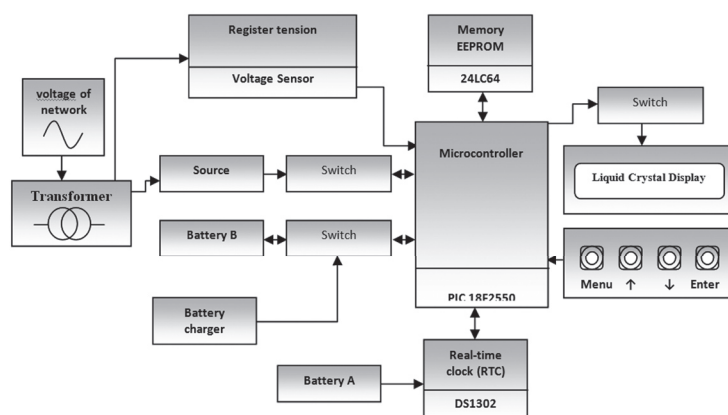


Figura 1. Diagrama en bloques y módulos que componen el diseño del prototipo de medición

De acuerdo con los parámetros de estudio y con los requerimientos del prototipo de medición, éste debe censar la variable de entrada (voltaje de red) mediante un sensor de voltaje y, con base en la lectura del mismo, almacenar en una memoria las interrupciones en la continuidad del servicio de energía eléctrica, teniendo presente la hora y fecha de los eventos ocurridos para publicarlos en una pantalla LCD.

Reglamentación colombiana, calidad del servicio

Las reglamentaciones que en materia de energía eléctrica establecen los entes reguladores del sector son la base para el estudio de cualquier planeamiento en cuanto a los indicadores de continuidad en la prestación del servicio [7] [8]. Entre los principales entes encontramos a la CREG, encargada de la regulación, y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD, delegada para supervisar lo ordenado por la Constitución. En consecuencia, las siguientes leyes y resoluciones fueron tenidas en cuenta en la realización del prototipo y están orientadas hacia la regulación de los sistemas.

- Ley 142/1994: Denominada Ley de Servicios Públicos Domiciliarios. Capítulo 1, principios generales, artículo 2, numeral 2.4: *“prestación continua e ininterrumpida, sin excepción alguna, salvo cuando existan razones de fuerza mayor o caso fortuito o de orden técnico o económico que así lo exijan”*.
- Ley 143/1994: Denominada Ley Eléctrica. Capítulo 1, Principios generales, artículo 6: *“las actividades relacionadas con el servicio de electricidad se regirán por principios de eficiencia, calidad, continuidad, adaptabilidad, neutralidad, solidaridad y equidad. El principio de continuidad implica que el servicio se deberá prestar aun en casos de quiebra, liquidación, intervención, sustitución o terminación de contrato de las empresas responsables del mismo, sin interrupciones diferentes a las programadas por razones técnicas, fuerza mayor, caso fortuito, o por sanciones impuestas al usuario”*...
- La resolución CREG 070-98 establece dos indicadores de la calidad del servicio de energía eléctrica en Colombia:

- *Indicador de duración equivalente de las interrupciones del servicio - DES*: definido como el tiempo total en el que el servicio es interrumpido en un circuito. Ver Ecuación (1).

$$DES = \sum_{i=1}^{NTI} T(i) \quad (1)$$

Donde:

DES: sumatoria de tiempo, en horas, de las interrupciones del servicio en un circuito.

i: Interrupción *i*-ésima.

T (i): Tiempo en horas de la interrupción *i*-ésima.

NTI: Número total de interrupciones que ocurren en el circuito.

- *Indicador de frecuencia equivalente de las interrupciones del servicio - FES*: el cual mide la confiabilidad de un sistema, se define como el número de interrupciones que presenta un circuito. Ver ecuación (2)

$$FES = NTI \quad (1)$$

Donde:

FES: es la sumatoria del número de veces que el servicio es interrumpido en un circuito.

Las otras variables tiene el mismo significado de la expresión anterior.

Desde el año 2000, la CREG estableció un sistema de medición y compensación económica de las empresas distribuidoras de energía a sus respectivos usuarios, cuando se incumplen los indicadores de Duración (DES) o Frecuencia (FES) establecidos trimestralmente para cada circuito. La metodología vigente para el cálculo de estas compensaciones se estableció por parte de la CREG mediante resolución 096 de 2000. Las metas DES y FES vigentes en la actualidad y que dependen del tipo de circuito fueron establecidas por la CREG mediante la resolución 113 de 2003.

Según la CREG, la mejora en la calidad del servicio durante los últimos años no ha sido la que ellos esperaban, razón por la cual es necesario modificar la metodología haciendo un mayor control a los registros reportados, así

como incrementar los valores de las compensaciones y replanteando las metas de DES y FES de acuerdo con estudios adelantados por la entidad (CREG) utilizando sistemas de simulación de eventos DES y FES como se plantea en [9].

Por último, un usuario está en la capacidad de medir sus indicadores autónomamente debido a que la resolución CREG 096 de 2000 expone: *“Los Usuarios tendrán derecho a reclamar por los indicadores DES y FES reales que ellos puedan contabilizar. En caso de controversia entre el operador de red (OR) y los usuarios, la carga de la prueba en contrario, será a cargo del OR”*. Además, según lo establecido en resolución CREG 070 de 1998, para el cálculo de los indicadores no se tienen en cuenta las interrupciones con duración igual o inferior a un minuto.

Arquitectura del prototipo

A fin de cumplir con los requerimientos del prototipo se utilizaron los siguientes dispositivos en la implementación del mismo:

Módulo De Monitorización

Consta principalmente de diodos como sujetadores y rectificadores, transistores BJT trabajando en estado de corte y saturación, y condensadores como filtros.

Módulo De Procesamiento Y Registro

Está compuesto de tres dispositivos:

- Microcontrolador PIC18F2550, que cuenta con módulos analog-to-digital converter (ADC) que permiten leer el estado de las baterías y protocolos de comunicación THREE WIRE e I2C para la bidirección de datos entre el PIC, la memoria externa y el reloj de tiempo real. Además, cuenta con una memoria de programa de 32Kbyte, la cual es ocupada en un 50% por el algoritmo diseñado.
- Memoria externa 24LC64 con una capacidad de 64 Kbyte, que permite almacenar aproximadamente 904 interrupciones en total ó 226 interrupciones por trimestre.

- Reloj de tiempo real DS1302, que utiliza un cristal de 32.768KHz y su comunicación es de tipo serie síncrona. Este dispositivo lleva el conteo de segundos, minutos, horas, días, meses y años, teniendo en cuenta incluso los años bisiestos.

Módulo de interfaz con el usuario

Está compuesto por una pantalla LCD Hitachi Hd44780u (Lcd-li) de 16x2. Además, cuenta con cuatro pulsadores con las siguientes funciones: menú, enter, arriba y abajo.

Módulo de comunicación

Se implementó una comunicación USB para que el dispositivo pueda conectarse a un computador y extraer toda la información almacenada a una hoja de cálculo.

Módulo de alimentación

Este módulo, como se observa en la figura 1 está constituido por

- Fuente A (principal) está constituida por un transformador de 120/12 VAC y de 200mA, un rectificador DF08M de 1 A, una etapa de filtro de 2200 uF y un regulador LM7805 de 1 A.
- La batería A, que es una celda de voltaje de 3V.
- La batería B, que es una batería AGM (electrolito inmovilizado) MT1208 de 12 V con una capacidad de 0.8 A/h.

Para la protección del prototipo se emplearon: un varistor contra sobretensiones y un fusible de 100 mA contra sobrecorrientes.

El diseño del circuito impreso (PCB) se hizo utilizando el software EAGLE 4.16 y ALTIUM DESIGNER SUMMER 08.

Diseño e implementación del Prototipo

A continuación se exponen los módulos que constituyen el prototipo de medición ilustrados en la figura 1.

Sensor de voltaje y monitorización

Se diseñó un sensor de presencia de voltaje que genera estados lógicos en su salida con respecto al voltaje de red de entrada, tal como se ilustra en el diagrama en bloques de la figura 2. El diseño del sensor está basado en dos requerimientos esenciales:

- Corto tiempo de respuesta en la salida ante un cambio en la entrada.
- Bajo consumo de energía en el sensor de voltaje.

El sensor de voltaje está alimentado por una fuente DC de 5 V que se encarga de generar los estados lógicos en la salida del mismo y

una fuente AC proveniente de la señal de RED del secundario del transformador.

El sensor, como se muestra en la figura 3, consta principalmente de un sujetador para levantar la señal AC, una etapa de rectificación y una etapa de filtrado para disminuir el rizado de la misma [10]. Estas etapas permiten generar un voltaje continuo que permanentemente mantiene en estado de saturación un transistor. Cuando ocurre una interrupción en el servicio (voltaje de entrada AC del sensor es igual a 0 V), el transistor pasa de la saturación a un estado de corte, permitiendo la conmutación de los 5 VDC a 0 VDC, que el microcontrolador toma como los estados lógicos de la variable en estudio.

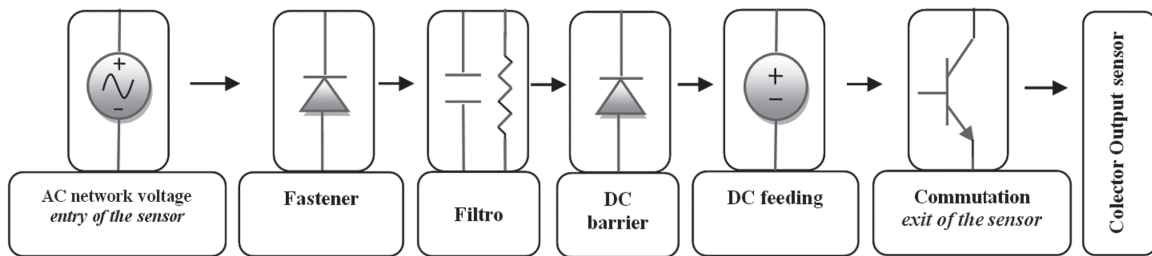


Figura 2. Diagrama en bloques del sensor de voltaje

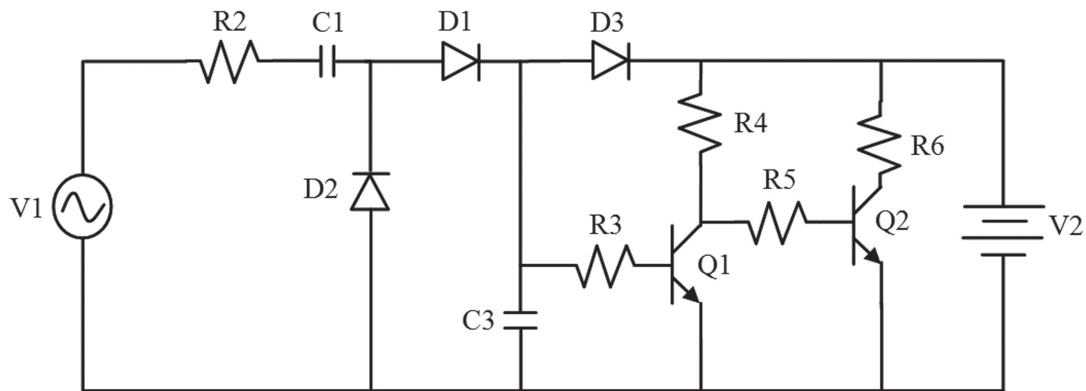


Figura 3. Circuito Sensor de voltaje

Procesamiento y registro

En la figura 4 se muestra el esquema del módulo de procesamiento y registro. En este módulo se encuentra implementado un algoritmo en lenguaje C, que permite:

- Llevar el conteo del DES y FES del trimestre en curso.
- Cronometrar las interrupciones en la continuidad del servicio prestado.
- Almacenar cada evento en una memoria externa con los siguientes datos: duración de la interrupción con horas, minutos, segundos; y fecha de la interrupción con hora, minuto, día, mes, año y trimestre.
- Organizar las interrupciones en carpetas trimestrales donde se puede visualizar el DES y el FES de cada trimestre durante un año, además de los registros de cada interrupción.

- Realizar tres conmutaciones importantes: la entrada de las baterías como fuente suministradora de energía cuando se presenta una interrupción, la recarga de baterías cuando se detecta que éstas están descargadas y el encendido y apagado de la pantalla con el fin de minimizar el consumo del prototipo.

El algoritmo, adicionalmente, está en la capacidad: de reinicializar el DES y el FES del trimestre cuando éste cambia, reinicializar la memoria externa cuando su capacidad se desborda, registrar una interrupción únicamente cuando su duración es mayor a un minuto y entrar en modo ahorro de energía cuando el usuario no ha manipulado el prototipo en un minuto o cuando éste opera en medio de una interrupción. En el anexo A se ilustra el diagrama de flujo del algoritmo diseñado.

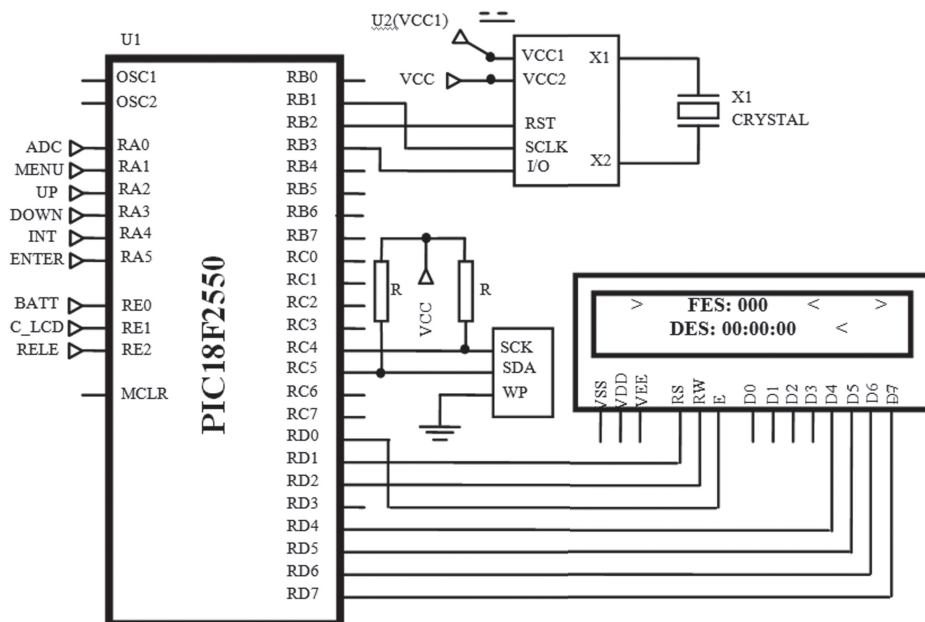


Figura 5. Procesamiento y registro

Interfaz Con El Usuario

La interfaz con el usuario consta de una pantalla LCD y cuatro botones que le permite al

mismo:

- Observar en la pantalla un recuadro principal donde puede constatar la hora y fecha actual,

- El cronometro de las interrupciones,
- El DES y FES del trimestre en curso,
- Un menú de interrupciones donde podrá encontrar el registro de los eventos divididos en carpetas por trimestre.

Los cuatro botones le permiten al usuario entrar al menú de interrupciones y desplazarse dentro de él. En el manual se encuentra una descripción detallada de la interfaz con el usuario.

Comunicación Usb-Cdc

Se desarrolló una interfaz para el usuario por medio de la comunicación Universal Serial Bus Communication Device Class (USB CDC).

Este tipo de comunicación (ver figura 5), emula un puerto serie *Recommended Standard 232* (RS-232) para el intercambio de datos entre el prototipo medidor y el PC. Este tipo de comunicación utiliza los drivers suministrados por Windows, los cuales son *Usbser.sys* y *Ccport.sys*; de igual manera, Microchip suministra el fichero *Mchpcdc.inf* para la identificación del prototipo y la optimización de la comunicación. Luego de obtener la comunicación con el PC, es necesario tener una plataforma para la recepción de la información censada por el medidor, por tanto, se desarrolló un software con ayuda de *Microsoft Visual C# 2008 Express Edition*, con el cual se establece la comunicación bidireccional de datos entre el PC y el medidor DES y FES (Ver figura 6).

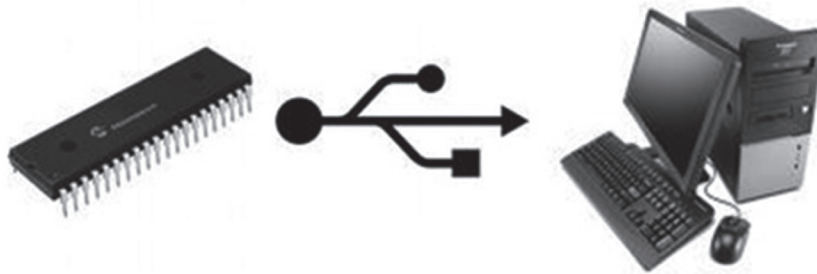


Figura 5. Communication Device Class (CDC USB)

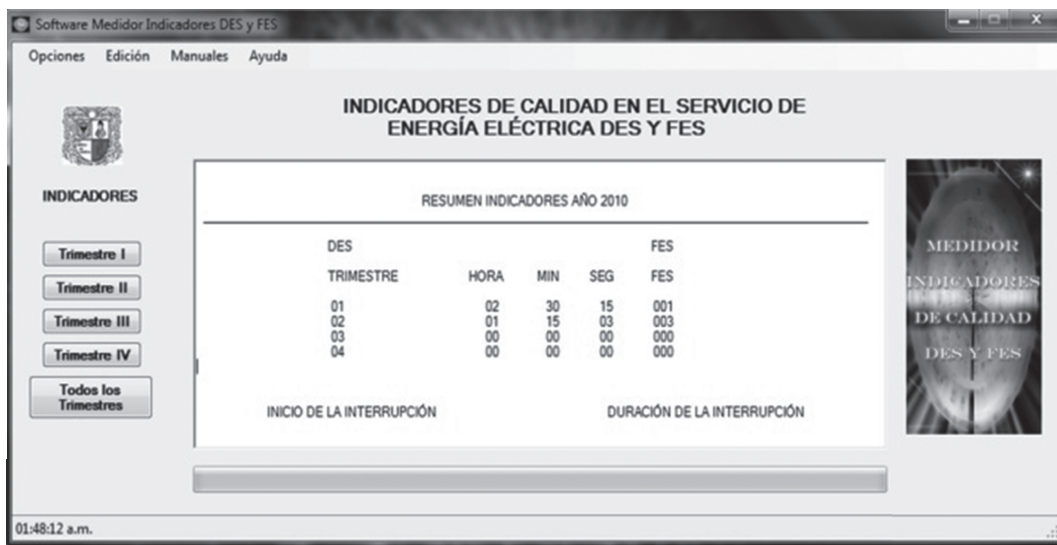


Figura 6. Software de Medición

Con la aplicación del software, el usuario podrá observar en el computador los indicadores de la calidad del servicio y obtener un soporte impreso en caso de reclamación cuando los valores máximos superen los niveles establecidos en la Norma.

Alimentación

El módulo de alimentación está conformado por tres sistemas que suministran la energía:

- **Fuente A:** es alimentada por la red eléctrica; ésta transforma, rectifica, filtra y regula el voltaje de entrada al prototipo y se encarga de brindar energía eléctrica al mismo mientras no haya interrupciones en el servicio.
- **Batería A:** básicamente es una pila de reloj de 3 V, la cual es utilizada porque el reloj de tiempo real lleva la cuenta del tiempo en registros de RAM (Random Access Memory), y requiere estar energizada permanentemente para que el mismo no se desconfigure.
- **Batería B:** es una batería de *alta autonomía* (0.8A/h) para alimentar el prototipo mismo en el momento de una interrupción.

Dada la demanda de energía suplida por la batería B, y la descarga consecuente de la misma, ésta debe ser recargada a través de

un dispositivo cargador. Así, el prototipo mide cada treinta minutos el volumen de carga de dicha batería por medio de un divisor resistivo y un puerto análogo-digital. Con base en esta medida determina si conmuta, o no, el cargador de baterías.

El diseño del circuito cargador de la batería B se hizo con base en las gráficas de voltaje, volumen de carga, corriente y número de ciclos de carga especificados en la hoja técnica de la misma.

Resultados

Las pruebas de funcionamiento del prototipo fueron realizadas en el laboratorio de maquinas eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Prueba de velocidad de respuesta del sensor de voltaje

Se emuló una interrupción instantánea en la continuidad del servicio y se midió la tensión de la red eléctrica, con respecto a la señal de salida del sensor de voltaje. De esta manera se obtuvieron las señales de tensión que se ilustran en la figura 7.

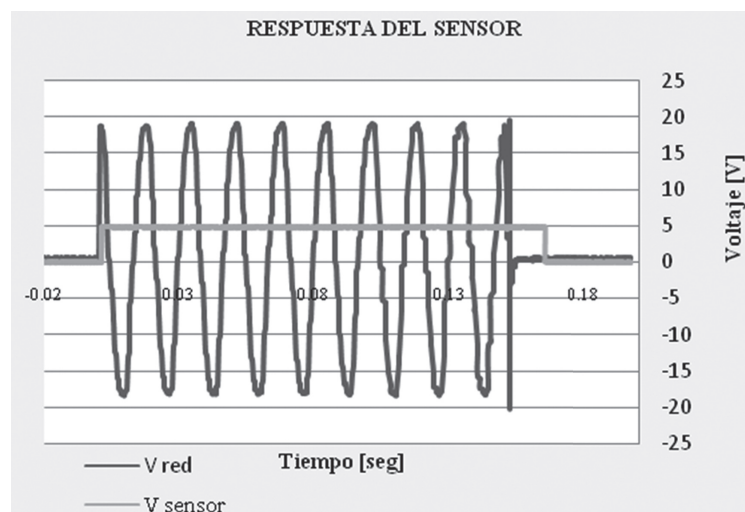


Figura 7. Velocidad de respuesta del sensor de voltaje

Como se observa en la figura 7, la respuesta del sensor ante el restablecimiento de la energía es casi inmediata (1.6 ms), mientras que al momento de ocurrir una interrupción la respuesta del sensor es tardía (12 ms), de esta manera el error relativo en la medida de tiempo esta descrito por la ecuación (3).

$$\epsilon_R = \frac{(T_m) - (T_m - Trd)}{T_m} * 100\% \quad (3)$$

Donde:

T_m : es el tiempo a medir, 60 s.

Trd : tiempo de retraso a la detección de la interrupción en el servicio, igual a 10.4 ms (12 ms - 1.6 ms), puesto que el tiempo en la detección del inicio de la interrupción compensa el tiempo en la detección del final de la interrupción.

Remplazando los valores correspondientes en la ecuación (3), se tiene un error relativo en la medida de tiempo de 0.017%.

$$\epsilon_R = \frac{(60) - (60 - 0.0104)}{60} * 100\% = 0.017\%$$

Con este resultado, se cumplió el requerimiento del sensor en cuanto a velocidad de respuesta ante una interrupción en el servicio de energía, debido a que el error relativo calculado es poco significativo. Consecuentemente, la precisión en la medida del error de T_m está en el orden de las milésimas de segundo.

Prueba Fes

Se diseñó un circuito utilizando un temporizador electrónico biestable, un tiristor y un opto-acoplador, con el fin de emular múltiples interrupciones en la continuidad del servicio. Se configuró de manera tal que se generen interrupciones de un minuto y medio, cada dos minutos. De esta forma, se encontró que el número máximo de interrupciones que el prototipo puede registrar en un trimestre es de 226, es decir, 904 al año

El prototipo puede registrar un máximo de cuatro trimestres.

Prueba Des

El tiempo máximo de una interrupción que puede registrar el prototipo está en función de la autonomía de la batería B. Se realizó una prueba emulando una interrupción temporal y se encontró que el tiempo máximo aproximado toma un valor de 72 horas (3 días). **PRUEBA DE DEMANDA DE POTENCIA .**

Para esta prueba se registró la potencia instantánea (potencia activa) midiendo las señales de corriente y de voltaje en la entrada de la red al prototipo. Los resultados se observan en la figura 8. Por medio de la integración numérica se halla que el valor de potencia activa demandada por el prototipo es igual a 740 mW.

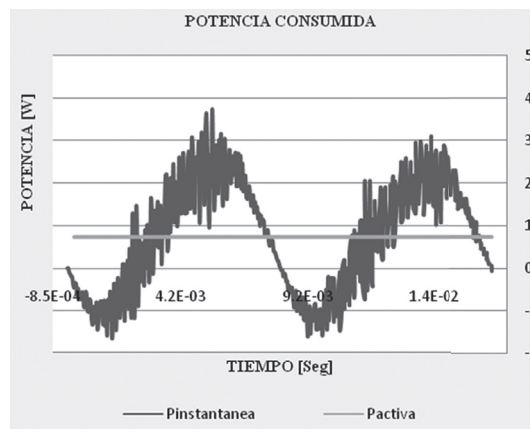


Figura 8. Potencia instantánea y potencia activa

Prueba de sobretensión y sobrecorriente

Suministrando un voltaje superior al nominal en la entrada del prototipo y simulando un corto circuito sobre el mismo, se comprobó la correcta dimensión de las protecciones del medidor.

Costos del prototipo

Para determinar el costo marginal del prototipo se elaboraron las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Costos de los dispositivos del prototipo (en miles de \$)

Equipo o Dispositivo	Justificación	Costo (miles de \$)
LCD 16x2	Visualización de los indicadores DES y FES	12
Microcontrolador PIC18F2550	Sistema de control y procesamiento de datos	8
Baterías recargables	Autonomía del prototipo	26
Transformador	Reducción de los niveles de tensión	6
DS1302	Reloj de tiempo real	2
Memoria EEPROM 24LC64	Almacenamiento de datos	4
Otros Componentes Electrónicos	Sistema de monitoreo y cargador de baterías	16
TOTAL		74

Tabla 2. Costos servicios técnicos del prototipo (en miles de \$)

Tipo de Servicio	Justificación	Costo (miles de \$)
Diseño y fabricación de los circuitos impresos	Circuitos impresos del prototipo	30
Diseño y fabricación de la carcasa	Interfaz física y protección de los circuitos	30
TOTAL		60

Así, el costo marginal de la construcción de un prototipo para la medición de los indicadores de calidad del servicio es de \$134.000,00.

Costos de funcionamiento

Considerando la potencia demandada por el prototipo y el costo del KWh para un usuario residencial estrato 1 (\$310,5088), se tiene que el costo del consumo de energía por parte del prototipo es de \$165,00 al mes ó \$1.982,00 al

año. Se debe tener en cuenta que este valor se calculó cuando el prototipo está consumiendo su máxima energía.

Características eléctricas del medidor

- Tensión nominal (Fase-neutro): 120 VRMS
- Frecuencia de línea: 60 Hz.
- Tensión máxima: 180 VVRMS.
- Conexión: Monofásica bifilar

Instalación del prototipo

El prototipo de medición se debe instalar entre el medidor de energía y el tablero de distribución, puesto; por norma del Operador de Red, no puede estar situado en la acometida [11]; tampoco puede estar situado después del totalizador del tablero de distribución, puesto que una falla en la instalación eléctrica residencial que provoque el disparo del interruptor termomagnético no puede ser tomada como una interrupción en el servicio de energía eléctrica. En el manual de usuario se especifica claramente la conexión del prototipo.

Conclusiones

El presente proyecto cumplió con su objetivo general, es decir, se ha diseñado y construido un prototipo para la medición de los indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica (DES y FES) para un usuario residencial.

Se logró una alta velocidad de respuesta en el sensor de voltaje diseñado. En consecuencia, el error en la medición de la duración de las interrupciones es no significativo, y así la probabilidad de que una interrupción con una duración inferior a un minuto sea registrada es mínima.

Tomando como referencia el número máximo de interrupciones admisibles por la CREG para el año 2009 [12] (58 interrupciones, grupo 4) y dado que el prototipo está en la capacidad de registrar un máximo de 904 interrupciones anuales, se comprobó que la memoria del mismo alcanza a registrar hasta 15 veces el máximo número de interrupciones en un año. Además, la autonomía del prototipo es suficiente para registrar una interrupción temporal de hasta 3 días.

Debido a que el prototipo consumirá energía ininterrumpidamente, el costo de funcionamiento del mismo debe ser bajo. Por tanto, se logró que el costo de operación en un año sea de \$1.982,00, para un usuario residencial estrato 1, suscrito a un costo de KWh \$310,5088.

Por medio del software diseñado “software medidor de indicadores DES y FES” y la comuni-

cación USB, el usuario está en la capacidad de llevar los registros de las interrupciones en medio físico y magnético.

Recomendaciones y trabajos futuros

Como función agregada, sería conveniente que el prototipo censara la calidad de la potencia y en un futuro sea aplicable, a bajo costo, en la industria.

Financiamiento Y Agradecimientos

Agradecimientos al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico (CIDC) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas quien financió este proyecto y brindó las herramientas necesarias para la realización del mismo.

Referencias

1. TORRES, Horacio; et al. Energía eléctrica, un producto con calidad –CEL-. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2002. 332 p.
2. RAMÍREZ, Samuel y CANO, Eduardo. Calidad del servicio de energía eléctrica: confiabilidad de sistemas de distribución. 1ª ed. Manizales: Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, 2003. 364 p.
3. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Resolución 070/98, Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional. Bogotá: CREG, 1998. 63 p.
4. ELECTRONICS DEVICE COMPANY S.A. Catálogo, Registrador de Calidad DFMC-05. Bogotá: EDEC, 2010.
5. MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. Microcontrolador PIC 16F877A Datasheet. Shanghai: Microchip, 2003. 234 p.
6. GARDNER, Nigel. An introduction to programming the Microchip PIC in C. United Kingdom: Bluebird Electronics, 1998. 162 p.
7. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. El ABC de la calidad de la energía eléctrica, 1ª ed. Bogotá: Editorial Limusa, 2006. 265 p.
8. PEÑUELA AYALA, Alfonso; et al. Propuesta metodológica para la valoración de los costos debidos a una inadecuada continuidad del

- suministro de la energía eléctrica. En: Revista UIS Ingenierías. 2005. Vol. 4, no. 1, p. 17-24.
9. BARRERA, Víctor, et al. Metodología para el Mejoramiento de los Índices de Continuidad del Suministro de Energía Eléctrica. En: II Simposio Internacional sobre calidad de la Energía Eléctrica (2, 29, octubre, 2003: Bogotá). Memorias.
 10. BOYLESTAD, Robert y NASHELSKY, Luis, Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. 8ª Ed. México: Pearson Educación, 2003. 1020 p.
 11. COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, Resolución no. 18 1294 de agosto 06 de 2008. Bogotá: El Ministerio, 2008. 164 p.