

DISEÑO DE UN CONTADOR ELECTRÓNICO DE ENERGÍA MONOFÁSICO CON COMUNICACIÓN ETHERNET

JORGE NAKANDAKARI¹, RAFAEL RIVERO²

¹ Fundación Instituto de Ingeniería, Caracas, Venezuela, email: nakajonm@gmail.com

² Universidad Central de Venezuela, Escuela de Ingeniería Eléctrica, e-mail: rafael.rivero@ucv.ve

Recibido: junio 2010

Recibido en forma final revisado: octubre 2012

RESUMEN

Se diseñó un contador de energía monofásico electrónico que tiene la capacidad de calcular valores de energía activa, energía reactiva, energía aparente, tensiones, corrientes y factor de potencia. Las determinaciones de la energía activa, la tensión y corriente se realizaron siguiendo la normativa venezolana COVENIN 3222:2003. Se utilizó el concepto de Lectura de Mediciones Automáticas (AMR) para transmitir dicha información hacia una plataforma de recolección de datos a través del estándar Ethernet de un número de contadores conectados entre ellos por medio de un bus de comunicación RS-485. Los datos pueden ser procesados y analizados para entender los patrones de utilización de la energía por parte de los usuarios del servicio eléctrico. Con la vigencia de las Normas de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad (NCSO), el proyecto cobra mayor relevancia, ya que servirá de apoyo a las empresas eléctricas para garantizar un servicio de mayor calidad.

Palabras clave: Medidor de energía, Medición automatizada, Calidad del servicio, AMR, Telemática.

DESIGN OF AN ELECTRONIC SINGLE-PHASE ENERGY METER WITH ETHERNET COMMUNICATION

ABSTRACT

In this work, an electronic single-phase energy meter able to calculate different values, such as: active energy, reactive energy, apparent energy, voltage, current and power factor, was designed. To determine the active energy, voltage and current values, the energy meter was designed conforming to COVENIN 3222:2003 Venezuelan standard. Automated Meter Reading (AMR) concept was used for data transmission into an Ethernet standard platform using several energy meters connected through a RS-485 bus port. The obtained data is processed and analyzed in order to understand the electricity consumption patterns of each user. Considering the Quality of Service (QoS) standards, this work becomes more relevant to be applied to support electric utility companies to guaranty better QoS.

Keywords: Energy meter, Automated measurement, Quality of Service, AMR, data transmission.

INTRODUCCIÓN

Por muchos años los contadores electromecánicos han sido los más utilizados para determinar el consumo de energía eléctrica, siendo una barrera tecnológica la dificultad de producir contadores de bajo costo que fueran lo suficientemente precisos, pero dichos costos han disminuido en los últimos años, razón que ha permitido su entrada en el mercado y la consecuente disminución del uso de los contadores electromecánicos. El contador desarrollado muestra ventajas sobre otros, como la capacidad de realizar cálculos más avanzados y la transmisión de estos resultados por diversos medios, escogiendo para este

trabajo la comunicación bajo el estándar Ethernet. El contador calcula otras magnitudes adicionales además de la energía activa consumida por el usuario, tales como energía reactiva, energía aparente, tensión de red, corriente y factor de potencia. Toda la información adquirida permite entender los patrones de utilización de la energía por parte de los usuarios. Los cálculos de la energía activa y de las tensiones y corrientes se han realizado siguiendo la normativa venezolana COVENIN 3222:2003, asegurando así la calidad de la medición.

Para la comunicación de los datos calculados por el contador, se utiliza el principio de Lectura de Mediciones

Automática, mejor conocida como AMR por sus siglas en inglés (Automatic Meter Reading), el cual consiste en recolectar información de dispositivos contadores (que pueden ser de agua, gas o electricidad) y transferir la información hacia la empresa proveedora del servicio, para su análisis, procesamiento y facturación (Microchip, 2005). De esta manera la facturación a los clientes puede ser calculada con el consumo real y no basado en estimados de consumos previos como en muchos casos suele suceder. Existen muchas tecnologías para la comunicación AMR, tales como plataformas telefónicas, comunicación por la red eléctrica (PLC – Power Line Communications), comunicación inalámbrica (Gopalakrishnan, 2011) y la que se presenta en este trabajo que utiliza una infraestructura de par trenzado y comunicación bajo el estándar Ethernet. Los beneficios para la empresa eléctrica que utiliza esta plataforma de comunicación son muchos, por ejemplo se reducen los gastos de recolección de datos del consumo eléctrico de los usuarios en sitio, se reduce la posibilidad de cometer errores a la hora de la lectura, se puede obtener información más compleja, precisa y detallada para estudiar el comportamiento de los usuarios y se puede supervisar el sistema en tiempo real en caso de que ocurran fallas o anomalías en el sistema (Keranen, 2009). Para transmitir la información adquirida por los contadores hacia el recolector de datos, se implementó una red tipo bus, bajo estándar RS-485 y Ethernet. Como está claro que económicamente no es conveniente tener un punto de red para cada contador, se utilizó una red RS-485 para comunicar un grupo ellos hacia un solo punto de red. Por lo tanto, la visión de esta plataforma sería ideal para zonas residenciales y edificios, en las cuales se tienen todos los contadores concentrados en una pequeña zona, de tal forma que todos éstos puedan ser comunicados a un único punto de red. Al utilizar la red Ethernet como canal de comunicación, se puede tener la posibilidad de que las empresas eléctricas permitan a los usuarios revisar vía internet su consumo de energía y su comportamiento en tiempo real. La supervisión del comportamiento de los usuarios en tiempo real, ayudará a que cuando ocurran fallas eléctricas, se reduzca el tiempo de desconexión de los usuarios afectados con la aceleración de la detección de la falla y el proceso de restauración. El sistema también servirá como apoyo a las empresas eléctricas cuando se aplique en su totalidad las Normas de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad (Ministerio de Energía y Minas, 2004), en las cual se establece que se penalizará por el suministro de energía de mala calidad (irregulares niveles de tensión, desbalances de tensiones, excesiva distorsión armónica en la señal de tensión, fluctuaciones en la tensión, interrupciones excesivas de servicio, entre otros), ya que con el sistema desarrollado se podrán supervisar muchas de estas variables que previamente no eran tomadas en

consideración a la hora de entregar el servicio eléctrico.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Código del contador: ETG12-A2T30-0-0-00
- Configuración de tensión de entrada: 2 hilos, monofásico
- Tensión de referencia (rms): 1x120VAC (fase-neutro)
- Corriente de referencia (rms): 10A (30A)
- Frecuencia de referencia: 60Hz
- Medición de energía activa (kWh), Clase 1,0
- Medición de energía reactiva (kvarh), Clase 2,0
- Medición de energía aparente (kVAh), Clase 2,0
- Medición de tensión, corriente y factor de potencia
- Constante del contador: 1000 imp/kWh
- Tipo de conexiones: IEC (Asimétrico)
- Grado de protección de la caja: IP51
- Visualización de parámetros por medio de pantalla LCD de 2 líneas, 16 caracteres
- Rango de temperatura: 0°C – 70°C, rango límite de operación
- Memoria de datos: tipo EEPROM (no volátil)
- Características constructivas:
- Dimensiones: 16,66x11,02x6,2 cm.
- Peso: 550g aprox.

ARQUITECTURA DEL CONTADOR

El diseño y desarrollo del contador se dividió en varias etapas. La etapa de procesamiento de energía, integrada por el procesador de energía y los transductores de tensión y corriente; la etapa de control, integrada por el controlador de señales digitales (DSC), su programación, el manejo del procesador de energía y de otros periféricos (pantalla LCD, Reloj en tiempo real); y, finalmente, la etapa que se encarga de comunicar un grupo de contadores vía Ethernet con la interfaz de usuario a través del protocolo Modbus implementado para esta etapa. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques general del contador. En la etapa de procesamiento de energía, se escogió un procesador de energía con una precisión de hasta 0.1% para garantizar una excelente medición. Dicho procesador posee integradores digitales del tipo sigma-delta de segundo orden de 16 bits y todo el procesamiento digital necesario con el cual se puede obtener energías, medición de período de la señal de tensión y cálculos RMS de las señales de tensión y corriente. Posee una salida de pulsos proporcional a la energía activa, y una interfase serial para calibrar el procesador y realizar comunicaciones y transferencia de información. Como transductor de tensión se utilizó un divisor resistivo, para atenuar la señal que ingresa al

procesador de energía. Como transductor de corriente se decidió utilizar transformadores de corriente. Para su escogencia, se consideraron las siguientes características: construcción mecánica, relación del primario al secundario, comportamiento según temperatura, clase de aislamiento, precisión y modo de conexión. Se escogió un transformador que soporta corrientes en el primario de 40A y que queda sobredimensionado por encima de la corriente máxima de 30A que utilizarán los contadores. Poseen una precisión de 0,1%, más baja que la requerida de 1% para garantizar la exactitud.

Los lenguajes utilizados para el desarrollo del programa fuente fueron Ensamblador y C. La mayoría del programa

fue realizado en lenguaje C, utilizándose Ensamblador para algunas aplicaciones puntuales como, por ejemplo, la lectura y escritura en la memoria EEPROM interna del DSC, que requiere un cuidado especial con los tiempos de almacenamiento, los cuales pueden ser controlados de mejor manera a través del lenguaje Ensamblador. Las funciones que realiza el DSC para el funcionamiento del contador de energía son las siguientes: Calibración, supervisión y control del procesador de Energía, cálculos para obtener valores en formato de ingeniería, manejo de periféricos adicionales (pantalla LCD, reloj de tiempo real), comunicación por medio del protocolo Modbus y almacenamiento de variables críticas en caso que ocurran fallas en la alimentación.

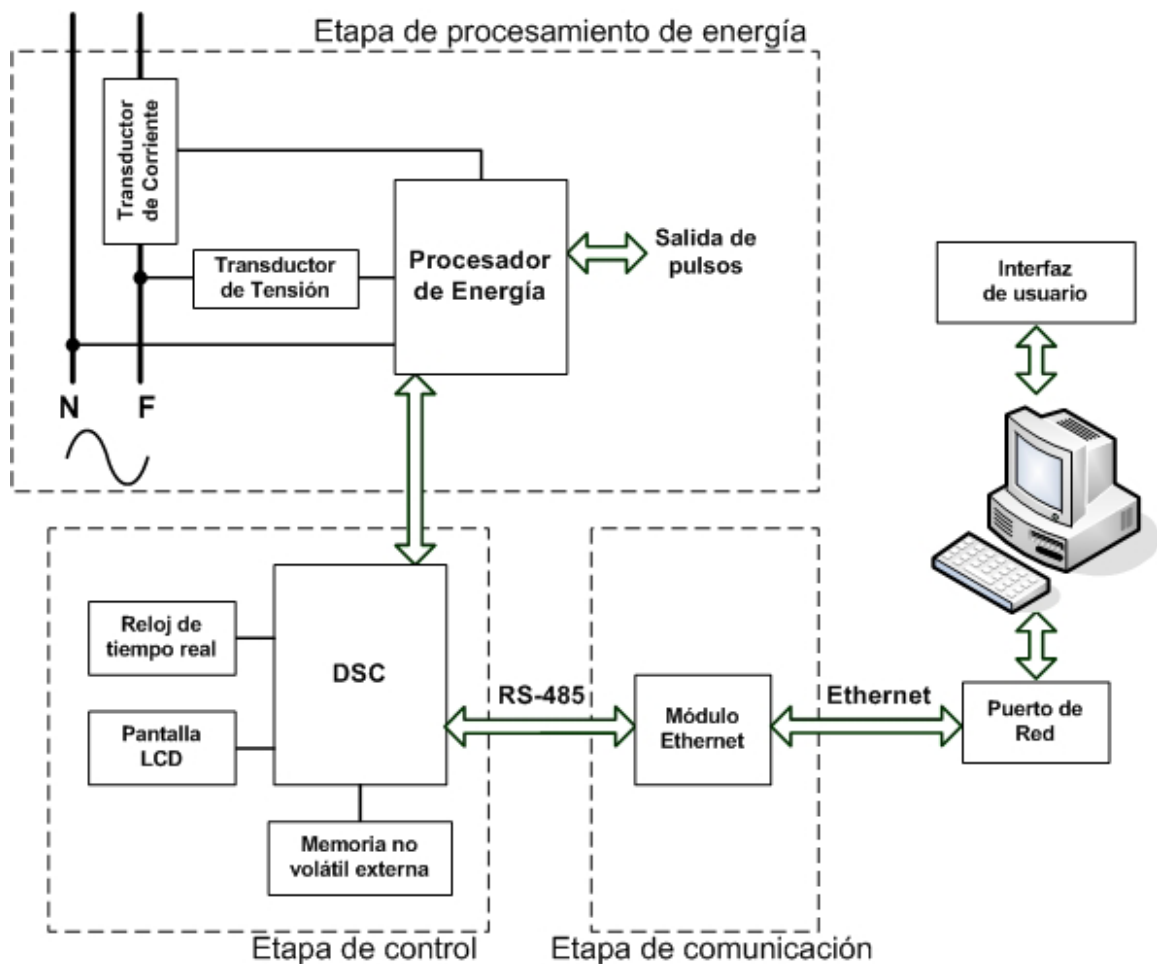


Figura 1. Diagrama de bloques del contador de energía

A continuación se mencionan algunos periféricos manejados en la etapa de control del sistema:

- Pantalla de cristal líquido: Se utilizó una pantalla de cristal líquido de 2 filas por 16 columnas, para mostrar toda la información del contador. Trabaja a modo de 4 bits para disminuir el número de conexiones entre la pantalla y el DSC. Al poseer dos filas, en la primera fila

siempre se observará la Energía Activa debido a que es la variable más importante, mientras que en la segunda columna se observarán las demás variables medidas (otras energías, tensión, corriente, fecha y hora). Todas las variables de la segunda fila rotarán cada 5 segundos y será posible identificar cada variable medida, ya que luego del valor se colocó su unidad respectiva.

- Reloj en tiempo real: Se empleó para llevar el tiempo en los contadores. Es un reloj/calendario que provee segundos, minutos, horas, día, mes y año. Posee detección de fallas en la alimentación y automáticamente puede cambiar a la alimentación alternativa, que en este caso es un supercapacitor dimensionado para proveer energía al reloj por más de 15 días.
- Memoria externa serial: Se colocó para uso futuro una memoria que se comunica por el puerto I2C con el DSC. Se utilizará para el almacenamiento de alarmas con su fecha y hora, para así ayudar a la supervisión de comportamientos irregulares del sistema.

En la Figura 2 se ilustra el aspecto externo del contador una vez ensamblado.



Figura 2. Contador de energía ETG12-A2T30-0-0-00

La etapa de comunicación permite la recolección de datos de forma centralizada de un grupo de contadores, lo que trae como beneficios la disminución de costos de instalación, mano de obra y traslados hacia los contadores. Como arquitectura de red se utilizó la más conocida y eficiente, que es la conexión en bus. Todos los contadores se conectan a un bus principal, por medio de ramales cortos, y las señales que pasan por el bus llegan a todos los nodos, pero existe una comunicación maestra que indica cuál

contador tiene permiso para transmitir (Kinnaird, 2004). Existen muchas maneras de comunicar varios contadores por un bus. Un método muy conocido es el uso de un par de cables trenzados, con señales diferenciales RS-485, definido en la especificación ISO-8482 (International Standard ISO/IEC 8482:1993). Este método posee una alta inmunidad al ruido, rápida tasa de transferencia y permite colocar una gran cantidad de nodos en un solo bus. La etapa de comunicación LAN fue desarrollada con base en un módulo de comunicaciones Ethernet comercial. Dicho módulo fue colocado fuera de los contadores como se muestra en la Figura 3, ya que se tiene la ventaja que la alimentación del módulo quedará a cargo de la empresa eléctrica, sin generar facturaciones adicionales a los usuarios. El módulo Ethernet utilizado presenta las siguientes características generales:

- Interfase 10Base-T Ethernet
- Soporte de direcciones IP estáticas y dinámicas
- Nivel de seguridad: ID y Clave
- Alimentación con 5VDC \pm 10%, corrientes mínimas de 150mA
- Temperatura de trabajo: 5°C – 50°C
- Tamaño: 8,6x5, 3x1,6 cm. Peso: 44g

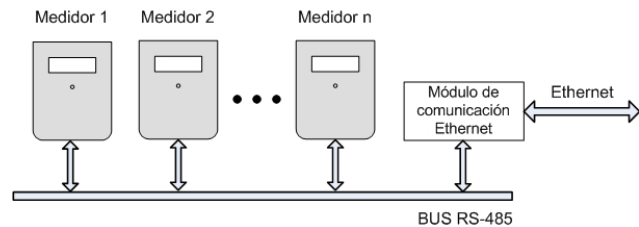


Figura 3. Conexión entre contadores y módulo Ethernet con bus RS-485

La comunicación del módulo se realizó a través de un programa suministrado por el fabricante, el cual permite desde la verificación y cambio de clave, hasta la selección de la dirección IP que utilizará el módulo. Para la integración de este módulo al desarrollo realizado, las variables más importantes que se configuraron fueron la dirección IP del módulo y el puerto de comunicaciones TCP, para poder lograr la comunicación LAN con el software de pruebas desarrollado que se describirá más adelante. Para la comunicación de la información se utilizó el protocolo Modbus RTU, el cual es un estándar abierto y ampliamente utilizado hoy en día. Este protocolo establece un paquete bien definido para realizar la comunicación de manera confiable (Modbus-IDA, 2004; Modbus-IDA, 2002). El contador de energía diseñado soporta los códigos de función que se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1. Códigos de función soportados por el contador

Código de Función		Descripción
Hex	Dec	
03h	3	Lectura de registros Lectura/Escritura
04h	4	Lectura de registros de Entrada
06h	6	Escritura en un registro
08h	8	Diagnósticos
10h	16	Escritura en múltiples registros
11h	17	Reporte de identificación del esclavo

SOFTWARE DE PRUEBAS

Se desarrolló un software para probar y supervisar el funcionamiento de los contadores de energía, que recibe los datos de dichos contadores a través del puerto serial y vía Ethernet, lo que permite analizar el comportamiento de todos los comandos Modbus implementados, así como también la adquisición de información calculada y almacenada en cada equipo. El programa se divide en tres partes: Comandos Modbus fijos, comandos Modbus generales y almacenamiento de variables.

Comandos Modbus fijos:

Posee seis menús con los comandos más utilizados para supervisar el comportamiento de los contadores, los cuales son los siguientes:

- Lectura de fecha y hora.
- Lectura de contadores: Se lee el número de encendidos del contador, número de comunicaciones por el bus, número de respuestas por parte del esclavo, número de comunicaciones con error en el Código de Redundancia Cíclica (CRC) y, finalmente, número de comunicaciones con respuesta de excepción.
- Lectura de variables medidas: Energía activa, energía reactiva, energía aparente, tensión, corriente y factor de potencia.
- Lectura de valores de fábrica: Lectura de los valores que corresponden a la placa de datos del contador, tales como serial del equipo, constante de impulsos por kWh, número de fases, tensión nominal, corriente nominal y corriente máxima.
- Lectura de valores de calibración: Se leen todos los valores grabados por defecto en el contador para su correcto funcionamiento. Son 15 variables.
- Escritura de fecha y hora.

The screenshot shows the software interface for testing single-phase meters. The main window is titled "Electrónica y Telecomunicaciones Generales" and "Cama de Pruebas para Contadores Monofásicos V1.0". It features a navigation bar with "Comandos fijos", "Comandos Generales", and "Almacenamiento de Variables". The "Almacenamiento de Variables" panel is active, showing a "Dirección del Esclavo" of 5 and a "Tiempo entre lecturas" of 0,20 minutes. The "Tabla de Variables Medidas" displays a table of measured variables for slave 5, including Active Energy (0,002 kWh), Reactive Energy (0,000 kvarh), Apparent Energy (0,000 kVAh), Voltage (117,39 Vrms), Current (0,000 A), and Power Factor (0,000). The "Trama Recibida (hex)" shows the received Modbus data: 0504 1800 0000 0200 0000 0000 0000 002D B000 0000 01FF FF00 0018 CA24 E5.

Figura 4. Pantalla de comandos de almacenamiento de variables

Comandos Modbus generales:

Permite la lectura y escritura de variables de los contadores, utilizando todos los comandos Modbus disponibles para los mismos, tales como las funciones 3, 4, 6, 8, 16 y 17 mostradas en la Tabla 1. Para que estos comandos funcionen correctamente, se debe saber con anterioridad la dirección de inicio, el número de registros que se deben leer o escribir, y el valor que se quiere escribir.

Almacenamiento de variables:

Esta ventana, como se ilustra en la figura 4, permite el almacenamiento de tres grupos de variables: variables medidas, valores de fábrica y contadores (número de encendidos del equipo, número comunicaciones en el bus, número respuestas del esclavo, número comunicaciones con error en el CRC y, finalmente, número de comunicaciones con respuesta de excepción). Este almacenamiento se realiza en tablas que pueden ser observadas en pantalla y esto ocurre cada vez que se oprime el botón de continuar. Adicionalmente, el almacenamiento de variables medidas permite guardar los resultados en un archivo de texto de manera automática, haciendo uso de un control en el cual se coloca el tiempo en minutos entre mediciones.

Se puede seleccionar un archivo ya existente o se coloca el nombre del archivo de texto en el cual se quiere almacenar los resultados, y luego se oprime el botón de continuar. De esta manera los valores obtenidos pueden ser exportados a una hoja de cálculo en la que se pueden generar datos estadísticos para estudiar el comportamiento del consumo y el perfil de carga del usuario supervisado.

CALIBRACIÓN DEL CONTADOR

Los contadores de energía deben ser calibrados ajustando diferentes valores de ganancia y compensaciones. Estos procedimientos de ajuste pueden ser logrados utilizando un contador patrón como referencia o utilizando una fuente estable de calibración. Los procedimientos de calibración se hicieron por medio de comunicaciones entre la unidad de control del contador y un software de calibración desarrollado. Este software asegura que el procedimiento de calibración se lleve en el orden correcto, además de ayudar con los cálculos matemáticos. Son 4 las calibraciones que se deben realizar en cada contador para asegurar su correcto funcionamiento:

- Calibración de tensión y corriente RMS
- Calibración de ganancia de Potencia Activa y Potencia Reactiva (Ventana de la Figura 5)

- Calibración de fase
- Calibración de compensación de Potencia Activa



Figura 5. Pantalla del software de calibración

De manera general, cada una de la cuatro calibraciones consisten en cambiar los valores de entrada (tensión, corriente y factor de potencia) hacia el contador, leer resultados de acumulación de diferentes registros provenientes del procesador de energía, realizar cálculos con los registros, y si se consigue la variable de interés, se almacena en el contador y se culmina con la etapa de calibración. Este esquema se observa en la Figura 6.

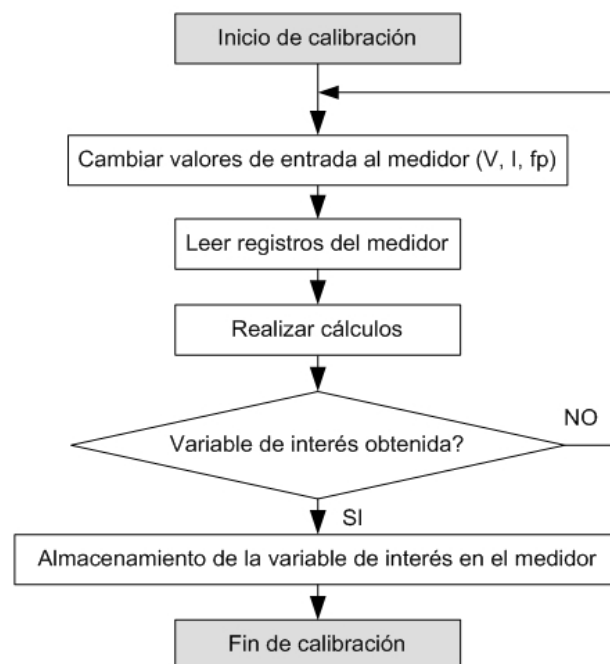


Figura 6. Esquema general de los procedimientos de calibración

PRUEBAS DE PRECISIÓN

Se realizaron las calibraciones a una muestra de 6 equipos y luego se le realizaron pruebas de precisión, para asegurar que cumplen con la normativa COVENIN e IEC, midiendo los pulsos ante diferentes condiciones aplicadas en las entradas de los contadores. Las pruebas realizadas siguiendo estrictamente la norma son las siguientes:

- Influencia de la variación de corriente con factor de potencia unitario (120VAC, fp unitario y corrientes desde 1A hasta 20A).
- Influencia de la variación de corriente con factor de potencia variable (120VAC, fp=0.5 inductivo y corrientes desde 2A hasta 20A).
- Influencia de la variación de tensión (tensiones desde 108VAC hasta 132VAC, fp unitario y 0.5 inductivo, corrientes de 2A y 20A).
- Influencia de la variación de frecuencia (120VAC, fp unitario y 0.5 inductivo, corrientes desde 10A hasta 20A y frecuencias desde 57Hz hasta 63Hz).

Las otras pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Medición de energía aparente (120V, fp unitario y 0.5 inductivo, corrientes desde 1A hasta 20A).
- Medición de energía reactiva (120V, fp unitario y 0.5 inductivo, corrientes desde 1A hasta 20A).
- Medición de tensión (variación de tensión con fp unitario).
- Medición de corriente (120V, fp unitario y 0,5 inductivo, corrientes desde 1A hasta 20A).
- Medición de factor de potencia (120V, fp unitario y 0,5 inductivo, corrientes desde 1A hasta 20A).

Los equipos arrojaron resultados dentro de los rangos establecidos por las normas utilizadas en sus valores de energía activa, energía aparente, tensión, corriente y factor de potencia. Para el caso de la energía reactiva se obtienen valores dentro de los rangos para valores superiores a los 2A, pero para valores menores se debe mejorar la calibración para obtener resultados más precisos.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se diseñó y desarrolló un contador monofásico electrónico de energía eléctrica, que cumple con normativas nacionales e internacionales en cuanto a precisión. En los objetivos iniciales no estaban previstos los cálculos del factor de potencia y la energía aparente, pero en el desarrollo del trabajo se decidió incluirlos debido a que estos cálculos estaban ligados a la energía activa y la

reactiva.

El sistema de gestión AMR implementado, abre un camino para lograr en corto plazo comunicaciones más avanzadas, tales como contadores prepago que puedan ser recargados vía Internet, o contadores con funciones de corte y reconexión de energía que sean supervisados vía Ethernet.

El contador se desarrolló como un sistema abierto, en el cual se puede cambiar el tipo de comunicación sin tener que realizar grandes cambios a la programación interna del equipo. Se hicieron pruebas de comunicación por la línea eléctrica PLC y el equipo funcionó correctamente transmitiendo paquetes de datos por la red eléctrica, así como pruebas efectivas con comunicaciones inalámbricas.

El software de calibración funcionó correctamente en sus cuatro etapas, permitiendo la calibración de un contador a la vez, cumpliendo con los rangos de precisión requeridos al finalizar el proceso, pero es de hacer notar que el proceso actual de calibración es lento. A la hora de fabricar contadores de energía de forma masiva, el tiempo de calibración es uno de los procesos que toma mayor tiempo, por lo que es necesario buscar una forma adicional de calibrar una mayor cantidad de contadores. En cuanto a las pruebas realizadas siguiendo las normativas, se obtuvo que los contadores calculan correctamente los valores de energía activa, energía aparente, tensión, corriente y factor de potencia. Los valores de energía reactiva están dentro de rango para valores de corriente superiores a los 2A, pero para valores menores se obtuvieron algunas desviaciones, por lo que es necesario revisar cuidadosamente la etapa de calibración para corregirlas.

El software de pruebas cumple con su función de probar y supervisar el correcto funcionamiento de los contadores, permitiendo obtener las variables de un contador en particular conectado al bus de comunicaciones, para su estudio y análisis. El software realizado es muy sencillo, ya que supervisa sólo un equipo conectado a la vez, pero se puede desarrollar una versión superior de programa en el cual se pueda solicitar variables medidas a todos los contadores conectados a un bus específico.

Este trabajo sirve como base para la medición de parámetros más complejos tales como demandas máximas, flickers, armónicos, desbalances en la red y otras características de la red, que juntas determinan el concepto de calidad de energía (Power Quality). Adicionalmente permite la posibilidad de medición de otros parámetros secundarios tales como alarmas (sobretensión, sobrecorriente), SAG (caída en los niveles de tensión) y medición de temperatura interna. Es

un trabajo que contribuye al desarrollo tecnológico nacional y cuyo valor agregado y utilidad nacional serán más evidentes cuando se lleven a la práctica en su totalidad las Normas de Calidad de Servicio de Distribución, esperando que se constituya en una herramienta fundamental que ayude a las empresas eléctricas a cumplir con las exigencias establecidas, y ofrecer un servicio de calidad que resulte en la satisfacción de sus clientes.

REFERENCIAS

INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC 8482:1993. (1993). Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Twisted pair multipoint interconnections. American National Standards Institute. Consultada en 2007.

GOPALAKRISHNAN B., I. (2011). Wireless Mesh Routing in Smart Utility Networks. Alabama, Estados Unidos. Auburn University. p.p. 58-61.

KERANEN, L. (2009). Usefulness of AMR data in the Network Operation. Tampere, Finlandia. Tampere University of Technology. p.p. 24-48.

KINNAIRD, C. (2004). RS-485 for E-Meter Applications. Revisión A. Nota de Aplicación. Estados Unidos.

MICROCHIP. (2005). Introduction to Utility Metering Tutorial. Nota de Aplicación. Microchip Technology Inc. Estados Unidos. Disponible en: <http://www.microchip.com>. Consultada en 2007.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. (2004). Normas de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad. Caracas, Venezuela. Disponible en: http://www.corpoelec.gob.ve/sites/default/files/NCSD_cr.pdf. Consultada en 09/2012.

MODBUS-IDA. (2004). Modbus Application Protocol Specification V1.1a. Disponible en: <http://www.Modbus-IDA.org>. Consultada en 2007.

MODBUS-IDA. (2002). MODBUS over Serial Line. Specification & Implementation Guide V 1.0. Disponible en: <http://www.Modbus-IDA.org>. Consultada en 2007.

NORMA VENEZOLANA COVENIN 3222:2003. (2003). Contadores estáticos de energía activa clase 1 y 2. Requisitos y métodos de ensayo. Disponible en: <http://www.codelectra.org>. Consultada en 2007.