

Diseño y Construcción de un Sistema Automático de Registro y Consulta de Datos de Consumo, con Proyección a Concientización de Ahorro Energético

A. Eras †

F. Barzallo ‡

† *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable - MEER*

‡ *Universidad de Cuenca*

Resumen – El propósito de este proyecto, es la construcción de un equipo que facilite tanto la medición de datos energéticos como la obtención de los valores de facturación de cada usuario.

El prototipo o registrador electrónico, presenta un sistema de monitoreo remoto del consumo de energía eléctrica de fácil utilización y orientado a clientes residenciales. El sistema se basa en la adquisición de datos de la acometida eléctrica, para realizar el cálculo del consumo y costo de la energía; y mediante el servicio SMS de las operadoras de telefonía móvil celular, establecer el canal de comunicación que le permita al usuario tener información de su consumo de energía. El sistema permite también, obtener una proyección de consumo en base a un historial por cliente.

El registrador electrónico sirve a la comunidad, facilitándole el conocimiento de su consumo de energía y facturación futura; de esta forma se pretende llegar a las personas, con el fin de que tomen conciencia y puedan racionalizar sus gastos. Consiguiendo un ahorro energético y económico.

Palabras clave: Registrador electrónico, prototipo, facturación, SMS

1. INTRODUCCIÓN

La producción de la energía eléctrica y su comercialización, dieron origen a la creación e implementación de medidores de consumo de energía, permitiendo a las empresas comercializadoras, la obtención de los datos del cliente para su posterior facturación por el servicio prestado.

En la realización de este proyecto no se pretende reemplazar a los medidores electromecánicos usados por las empresas distribuidoras; el objetivo primordial del registrador electrónico es hacer hincapié en la racionalización de los gastos de energía, ya que el registrador realiza mediciones de consumo y mientras trabaja en este proceso va calculando cuánto debería pagar el usuario según su energía consumida actual y proyectada.

Este trabajo, presenta un sistema de monitoreo remoto del consumo de energía eléctrica de fácil utilización y orientado a clientes residenciales.

1.1. Antecedentes

Los medidores electromecánicos utilizan bobinados de corriente y de tensión para crear corrientes parásitas en un disco que, bajo la influencia de los campos magnéticos, produce un giro que mueve las agujas de la carátula; a diferencia este prototipo utiliza convertidores analógico-digitales para hacer la conversión de energía; puesto que el desarrollo tecnológico busca la implementación de equipos que puedan facilitar o mejorar el estilo de vida de las personas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un sistema automático de registros y consulta de datos de consumo, con proyección a concientización de ahorro energético.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Implementar un módulo de adquisición de datos y acondicionamiento de señales que permita el registro y consulta de datos de consumo energético de la red eléctrica de un servicio residencial.
- Implementar un sistema remoto de comunicación entre el dispositivo de monitoreo de la red eléctrica y el usuario, empleando el servicio SMS (servicio de mensaje corto) de telefonía móvil celular (Sistema GSM-GPRS).
- Permitir al usuario la consulta del consumo actual y de su proyección mensual, de una manera rápida e interactiva, empleando un interfaz táctil y de visualización.
- Elaborar un presupuesto del equipo de consulta, para determinar su factibilidad de ingreso al mercado.

2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

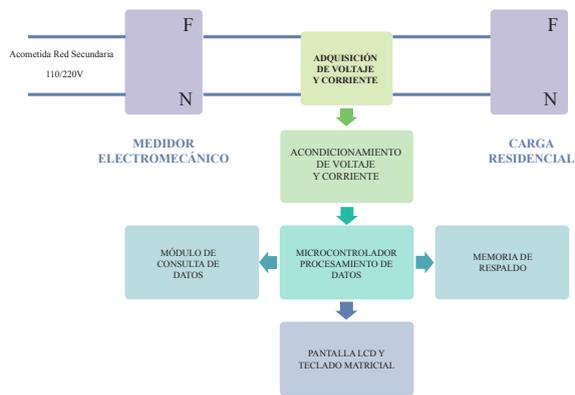


Figura 1: Diagrama de bloques general

El equipo va a realizar un censado de los niveles de corriente y voltaje que consume la carga mediante el módulo de adquisición de datos y de acondicionamiento de señal, después en el módulo de procesamiento de datos digitaliza y muestrea estas señales para realizar los cálculos de energía y facturación; y visualizar estos valores en una pantalla LCD (pantalla de cristal líquido).

El módulo de interface de comunicación recibe los datos procesados mediante el protocolo de comunicación RS-232 y los transmite a un computador personal por medio del protocolo de transmisión USB (Universal Serial Bus).

El módulo de interface de usuario (PC) es el encargado de procesar los datos que han sido transmitidos desde el registrador, los mismos que son visualizados en una ventana en la pantalla del computador, que son valores de consumo y facturación; todos los datos que el registrador envía a la PC son almacenados como registros para el usuario.

El software instalado en el ordenador se encarga de configurar el teléfono celular como módem, para poder enviar datos registrados y costos de consumo con un SMS, cuándo el usuario solicite la información mediante un mensaje de texto.

2.1. Adquisición de señal de corriente

2.1.1. Fundamentos de conversión corriente – voltaje

El transformador de corriente consta de un núcleo magnético toroidal por cuyo centro se introduce el cable que transporta la corriente. Mediante un acoplamiento magnético se induce una corriente en un bobinado secundario, por este motivo es necesario cerrar el circuito a través de una carga resistiva sobre la cual se medirá la tensión. Si la resistencia de carga tiene un valor de

1Ω , el valor de voltaje que se mida será exactamente el valor de corriente, por lo que esta resistencia debe tener características de precisión y potencia. Se ha realizado la elección de este tipo de convertidor debido a dos factores importantes para el sistema:

- El TC realiza la conversión de corriente a voltaje con una relación lineal mediante una resistencia de carga.
- El TC realiza un acoplamiento magnético, por lo que es posible aislar totalmente los valores elevados de corriente, de los valores bajos que serán manejados en la placa principal.

La máxima intensidad de corriente que el sistema debe ser capaz de medir sin que se produzcan errores es de 40A.

2.1.2. Diseño del sensor de corriente

El circuito consta de: un transformador de corriente TC que es usado como convertidor corriente-voltaje, el primer paso para usar este dispositivo es sacar su relación de transformación $I1/I2$ y determinar si es o no lineal, una resistencia que tiene un valor de 1Ω , ésta se coloca en paralelo con el devanado secundario del transformador de corriente, y un transformador elevador de señal para censado de corriente conectado en paralelo con la resistencia, el cual toma la señal de corriente obtenida de la derivación, eleva su valor en una relación de 1 a 10 para luego ser enviada al circuito.

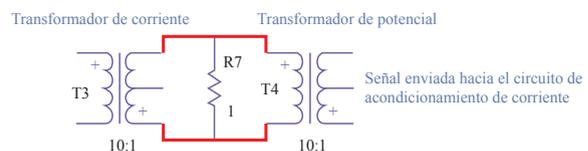


Figura 2: Diagrama de censado de corriente

El circuito de la Fig. 2 tiene la función de ajustar la corriente a un nivel adecuado para que pueda ser procesada y muestreada por el microcontrolador.

2.1.3. Circuito para adquisición de datos de corriente

En esta parte del sistema, se usará un sensor de corriente, una resistencia conectada en tipo shunt, un transformador de potencial y elementos electrónicos para el acondicionamiento de la señal.

Los elementos electrónicos, son utilizados con el fin de adecuar la señal a un valor de 0 a 5 voltios pico-pico, que es el valor de trabajo del ADC (conversor analógico-digital), que usa el microcontrolador, para posteriormente ser enviada al módulo de procesamiento de datos.

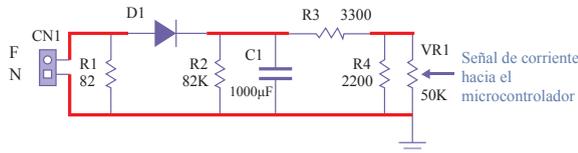


Figura 3: Diagrama de adquisición de corriente

En la Fig. 3 se muestra el circuito de acondicionamiento de señal de corriente, la misma que es recibida por medio de los equipos de censado Fig. 2, que son los encargados de entregar al circuito niveles aceptables y apropiados de corriente.

2.2. Adquisición de señal de tensión

2.2.1. Diseño del sensor de voltaje

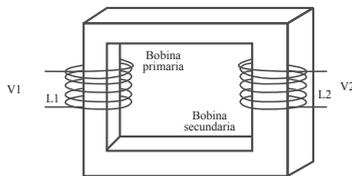


Figura 4: Transformador

El transformador de tensión en el prototipo tiene dos funciones principales: sirve para alimentación de energía del prototipo y como transformador de medida, adecuando el nivel de tensión requerido; su devanado primario se conecta en paralelo con la carga cuyo voltaje se desea medir y el secundario al circuito que realiza la toma de datos, puesto que su objetivo principal es el muestreo.

2.2.2. Circuito para adquisición de datos de tensión

El voltaje de ingreso es reducido por medio de un transformador a una relación de 10:1, este voltaje sirve para realizar el proceso de calibración para representar la señal de ingreso del microcontrolador de manera lineal, haciendo que, cuando el voltaje sea la décima parte del voltaje de red, se tenga en el ingreso al microcontrolador un nivel de +5Vdc.

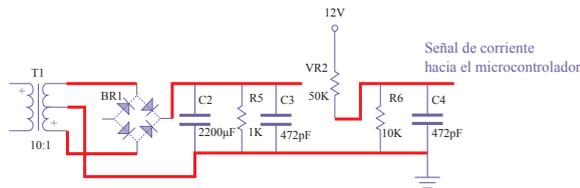


Figura 5: Diagrama de adquisición de voltaje

El circuito de acondicionamiento de señal de voltaje, recibe su señal por medio del equipo de censado (transformador de potencial), que se encarga de entregar al circuito un nivel aceptable de voltaje.

Este circuito cumple con la función de rectificar y ajustar la tensión a un nivel adecuado para que pueda ser procesada y muestreada.

2.3. Diseño de la fuente de alimentación

2.3.1. Circuito de la fuente de poder

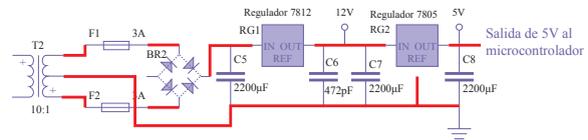


Figura 6: Diagrama de la fuente de poder

Muchos circuitos necesitan para su funcionamiento, una fuente de poder o alimentación.

La señal de entrada, que va al primario del transformador, es una onda senoidal (110/120 voltios corriente alterna). Para lograr obtener corriente continua, la entrada de corriente alterna debe seguir un proceso de conversión.

2.4. Procesamiento de datos

Se emplean dos microcontroladores:

El primer microcontrolador realiza las siguientes funciones: conversión analógico-digital, para dos canales de ingreso; manejo de periféricos de entrada y salida (teclado matricial de 4x4 y un dispositivo de visualización de 8 bits, usando el puerto D y B respectivamente).

El segundo microcontrolador se encarga de: comunicación entre microcontroladores mediante interfaz RS-232 para proceder a la transferencia de datos del cálculo de energía; permite la comunicación entre el prototipo y una computadora externa mediante interfaz USB.

El computador personal dispone de una interface de usuario por medio de una pantalla de visualización que presenta datos de: energía consumida en KWh, costo de la energía consumida y proyección de consumo.

Dispositivo móvil de comunicación con el usuario: proporciona la información de consumo al usuario mediante la red celular.

Dispositivo móvil de usuario: permite realizar la consulta de datos al usuario.

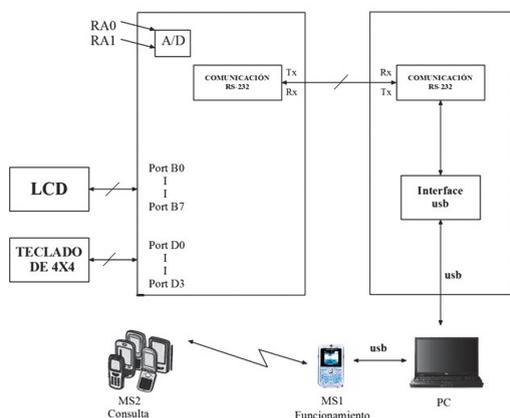


Figura 7: Diagrama de bloques general del procesamiento de datos

2.4.1. Diagrama de conexiones

En el siguiente gráfico se visualiza los puntos de conexión del prototipo a la red de energía, en los puntos tres y cuatro se conecta el transformador de potencial que alimenta al prototipo y también realiza la adquisición de niveles de voltaje.

Para la conexión del transformador de corriente se pueden usar los puntos uno y dos o cinco y seis.

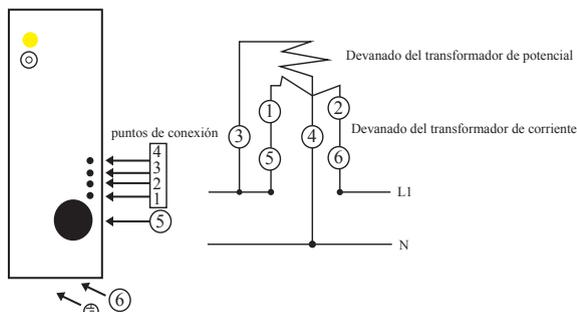


Figura 8: Diagrama de conexiones

3. CARACTERÍSTICAS DEL HARDWARE

3.1. Especificaciones técnicas del sistema

- **Alimentación:**

127 VAC / 60Hz

- **Interfase con la PC:**

Características de los canales:

Número de canales.....	2
Resolución.....	8 bits
Tipo de ADC.....	Aproximaciones sucesivas
Frecuencia de muestreo f_s	1 muestra/10 seg.

Rango de la señal de ingreso:	
Voltaje.....	127VAC
Corriente.....	40 A

- **Acondicionamiento de señal:**

Ganancia.....	10
Aislamiento... Categoría IV (National Instruments™)	

- **Sensores utilizados:**

Voltaje.....	Transformador de acoplamiento 10:1
Corriente.....	Transformador de corriente 8:1

- **Características físicas:**

Tamaño.....	25.4cm x 19.5cm x 7.87cm
Peso aproximado.....	1.4 kg. 3.2 libras

- **Requerimientos de la PC:**

Puerto de I/O.....	Conector USB tipo A
Software adicional... Visual Basic 6.0, Motorola Phone	
Sistema operativo.....	Windows XP

3.2. Elaboración y construcción de la planta electrónica

Para la elaboración, diseño y construcción de las placas se utiliza como herramienta principal el programa PCBwizard/Livewire.

El proceso de ruteo se lo realizó en una cara, debido a que el esquema no presenta mayor complejidad, y por su baja densidad de elementos.

Para la impresión del circuito se empleó placas de baquelita, el circuito fue impreso en papel termo-adherente y luego se utilizó percloruro de hierro para el proceso químico de corrosión.

Los elementos de montaje fueron del tipo through-hole, teniendo en cuenta que para el gráfico del circuito se emplea los foots-prints normalizados.

Se debe tener precaución con el empleo de esta técnica debido que al existir descuidos en el proceso de transferencia del circuito a la placa-impresión se puedan borrar las pistas.

El circuito de alimentación está separado del circuito de control debido a los niveles de voltaje y frecuencia. No hay problemas de interferencia de frecuencia debido a que usan la misma frecuencia de

la red. Existe protección contra corrientes parásitas con el uso de un capacitor en la alimentación de los circuitos integrados (microcontroladores).

La vista frontal del prototipo terminado se muestra a continuación:

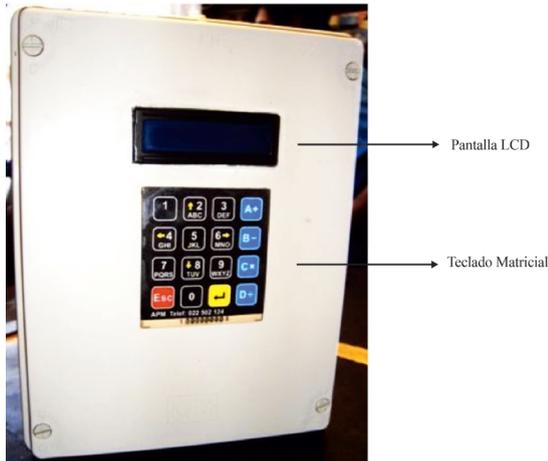


Figura 9: Vista frontal del prototipo

El prototipo electrónico interiormente presenta la siguiente distribución de componentes físicos:

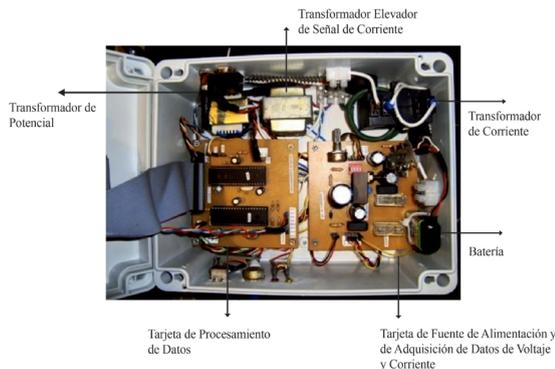


Figura 10: Distribución física de componentes

4. DISEÑO DEL SOFTWARE DEL REGISTRADOR

Para la elaboración del software de control, se examinó cada una de las señales sensadas por los dispositivos de medición de corriente y voltaje.

Una vez que la señal es capturada, digitalizada y se encuentra en un lugar de memoria del microcontrolador se realizan los procesos de cálculo de energía consumida y de costos de facturación, y estos registros son enviados al módulo de comunicación de datos para que éste a su vez transfiera en forma alámbrica la información al computador personal, y se puedan transmitir de manera inalámbrica al sistema receptor o cliente por medio de un módem GSM.

4.1. Programa principal

Esta parte del programa inicializa todos los registros necesarios para ejecutar las aplicaciones del microcontrolador; muestreo de datos de la red; ajuste de datos adquiridos; inicialización de periféricos externos que sirven de interfaz entre equipo-usuario; procesos de cálculo para obtener la energía que está consumiendo la carga; cálculos de costos de facturación y proyección de costos de consumos energéticos; transmisión de datos registrados.

El programa principal, configura los puertos A, B, C y D como entradas o salidas. Luego se definen y se envían todos los comandos de control que se utilizan para configurar e inicializar la pantalla LCD.

El proceso de inicialización consiste en enviar una secuencia de códigos hexadecimales desde el puerto B (entrada y salida) del microcontrolador, esta secuencia de inicialización enciende el cursor; borra el display; etc.

También se realiza un algoritmo para la configuración del teclado matricial, el proceso es una técnica de exploración que consiste en la lectura consecutiva de las filas o las columnas de éste.

Debido a que el microcontrolador realiza un muestreo de las señales de corriente y voltaje se tiene que definir un tiempo de toma de datos, que para este caso es de dos segundos, cumplido este intervalo de tiempo se realiza la conversión analógica-digital.

El rango de tensión establecido a la entrada del procesador es de 0 a 5 voltios.

Después se habilita el módulo ADC (convertidor analógico-digital) y se escoge el RA1 y RA2 como entradas analógicas del procesador y se envían los comandos necesarios para que la conversión inicie y se pueda leer el resultado, este dato convertido es corregido y almacenado en dos registros, con etiquetas llamadas corriente y voltaje; se calcula primero la potencia instantánea consumida por la carga y después se realiza el cálculo de energía consumida.

Se envían los datos calculados al procesador de comunicaciones usando el protocolo RS-232, y finalmente se despliegan todos los valores registrados en pantallas de visualización.

4.2. Cálculo de consumo de energía

La medición de energía eléctrica que se efectúa mediante medidores o contadores, resulta de interés

para calcular la cantidad de energía que la compañía suministradora debe facturar a los consumidores.

4.2.1. Elaboración de factura de consumo de energía

Para la elaboración de la factura de consumo de energía, la Empresa Eléctrica Centro Sur, considera los siguientes valores:

- a) Cargo por energía
- b) Cargo por comercialización
- c) Subsidio de dignidad de energía
- d) Alumbrado público con tarifa
- e) Tasa de recolección de basura
- f) Subsidio cruzado
- g) Contribución bomberos

La factura de consumo total consiste en la suma de cada uno de los valores anteriormente señalados.

4.3. Programa para comunicaciones USB

Este programa está almacenado en el microcontrolador de comunicaciones, inicializa todos los registros necesarios para ejecutar las aplicaciones RS-232 y USB del procesador.

Este microcontrolador recibe por el puerto serial (protocolo RS-232) los datos calculados de energía, y transmite los registros por el puerto USB (protocolo USB) del microcontrolador a la computadora personal.

La función principal del procesador es de mantener una comunicación activa entre el computador personal y el registrador electrónico.

4.4. Programa para el computador personal

El lenguaje de programación utilizado en el computador personal es Visual Basic, este programa inicializa todos los registros para la comunicación USB entre el prototipo y el computador personal, entre los dos se debe mantener una comunicación activa para que la PC reciba en forma constante los datos enviados por el prototipo.

Se inicializan también los registros de control para la configuración del módem GSM, que funcionará como medio de transmisión de registros para el abonado en forma inalámbrica.

También este software crea una base de registros de consumo de energía, los que se van almacenando en un espacio de memoria de la PC.

El computador personal recibe el dato de energía, enviado por el registrador y procede a realizar el cálculo de facturación de energía y de la proyección de facturación, y despliega todos los datos calculados en una pantalla de visualización; estos datos se van actualizando cada vez que el prototipo transmite una nueva secuencia de datos.

The screenshot shows a software window titled "EasyHID Template" with a light green background. It contains several data fields and a button. The fields are: "ENERGÍA CONSUMIDA" with a value of "2" and unit "Kwh"; "HORA" with a value of "09:50:39"; "FECHA" with a value of "11/01/2010"; "COSTO DE ENERGÍA CONSUMIDA" with a value of "\$ 2,21494"; and "PROYECCION DE CONSUMO ENERGÉTICO" with a value of "\$ 19,65765". A "FINALIZAR" button is located on the right side. At the bottom, it says "REALIZADO POR FAUSTO BARZALLO Y ANDREA ERAS".

Figura 11: Pantalla de visualización en el computador personal

4.4.1. Envío del mensaje de texto (SMS)

El computador personal también configura un módem GSM para la transmisión de datos registrados y calculados mediante el uso del servicio de mensajes cortos (SMS). Desde esta perspectiva, se usa un equipo móvil como una extensión del computador.

Mediante el envío de un mensaje SMS hacia la PC, se podrá "consultar" los datos registrados de costos y consumo de energía.

5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Es la etapa final en el proceso de desarrollo del prototipo, en la cual se procede con una revisión del mismo con la finalidad de encontrar defectos en su funcionamiento y realizar las correcciones para evitar problemas y complicaciones en las tareas de utilización por parte de los usuarios, situaciones que limitarían su operatividad.

Para dicho proceso se considera de gran utilidad la ejecución de una serie de pruebas que ayudan con los fines propuestos en esta etapa; se numeran a continuación:

- a) Pruebas del sistema electrónico analógico
- b) Pruebas de linealidad del transformador de corriente
- c) Pruebas de la fuente de alimentación

- d) Pruebas en el circuito de adquisición de señal de corriente
- e) Pruebas en el circuito de adquisición de señal de voltaje
- f) Pruebas del sistema microcontrolador
- g) Pruebas de funcionamiento del software en el circuito del microcontrolador
- h) Pruebas del cálculo de energía y facturación
- i) Pruebas del cálculo de la proyección de facturación
- j) Pruebas de funcionamiento del software instalado en el computador personal
- k) Pruebas de funcionamiento del módem GSM

5.1. Determinación de fallas y correcciones

En el desarrollo del prototipo se han ido realizando las pruebas de funcionamiento de cada subsistema, y por lo tanto determinando las fallas del prototipo y las correcciones pertinentes en cada caso.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para el correcto funcionamiento del equipo, éste deberá ser instalado y manipulado únicamente por personal capacitado.
- Entre las virtudes del sistema se destaca el interface de usuario, el mismo que permite a éste último interactuar con el equipo mediante su teléfono celular. De esta forma, el cliente puede conocer los datos de consumo energético a través de un mensaje de texto (SMS), el cual es enviado por el equipo que se encuentra instalado en su domicilio. Para las consultas provenientes del usuario móvil, se emplea también los mensajes de texto, limitando al sistema su accesibilidad, a la zona de cobertura de la red de telefonía móvil celular.
- El interface con la PC permite al cliente visualizar los datos de consumo de energía, la facturación actual y la proyección de pago para el mes en curso, de esta manera se pretende crear una cultura de ahorro por parte del cliente, en función del impacto económico que su consumo provoca al final de cada mes.
- En cuanto a los equipos GSM es recomendable la marca Motorola y sus series "L" puesto que es capaz de manejar modo PDU y modo Texto y muy pocos equipos GSM permiten ambos tipos. La forma de controlar los módems GSM y de acceder

a todos los servicios que éstos prestan es mediante los comandos AT, y AT+, ya que en estos se ha probado una compatibilidad total con dichos comandos.

- Se puede implementar un módem GSM interno al prototipo en lugar de un celular con el propósito de tener una mayor comodidad en la manipulación.
- Implementar el sistema de transmisión de las señales que provienen de la placa de comunicaciones de datos, empleando Internet, usando protocolo TCP-IP, PPP o algún otro método conveniente.
- Analizar los aspectos económicos y posibilidad de colocación en el mercado, de este producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JOSE ADOLFO GONZALEZ VASQUEZ, "Introducción a los Microcontroladores"; McGraw-Hill/Interamericana de España. S.A.; España, 1992.
- [2] JOSEP BALCELLS, FRANCESC DAURA, RAFAEL ESPARZA, RAMÓN PALLÁS; "Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos"; Alfaomega-Marcombo S.A.; Barcelona España, 1992.
- [3] HYNES, RICHARD; "Programación de bases de datos con Visual Basic.NET"; Pearson Prentice Hall; Madrid 2003.
- [4] FERREL G. STREMLER; "Sistemas de Comunicación"; Tercera Edición; Editorial Addison-Wesley Iberoamericana. S.A.; E.U.A., 1993.
- [5] ROBERT L. BOYLESTAD, LOUIS NASHESKY; "Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos"; Octava Edición; Pearson Prentice Hall; México, 2003.
- [6] ESTEBAN FERNANDO CASTILLO DURÁN, JOSÉ RICARDO VILLAGÓMEZ DÁVALOS; "Sistema de Monitoreo Remoto de Niveles de Almacenamiento de Combustible para una Estación de Servicio"; TESIS. Cuenca. 2008; DIRECTOR: Fabián Marcelo Vargas Carvajal.

- [7] JORGE AUCAPIÑA E.; “APLICACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES PIC PARA AUTOMATIZACIÓN VÍA TELEFÓNICA”; Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico; UNIVERSIDAD DE CUENCA, CUENCA-ECUADOR, 2005.
- [8] CARLOS PLATERO; “Introducción al Procesamiento digital de Señales”; DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, AUTOMÁTICA E INFORMÁTICA INDUSTRIAL, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Capítulo 12.



Fausto Javier Barzallo Grunauer.- Nació en Santa Rosa, Ecuador en 1984. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca en el año 2010. Desde su graduación se desempeña como Ingeniero de diseño y ejecución de obras en una empresa de construcciones.

Sus principales áreas de interés están enmarcadas en la Automatización y Control de Sistemas Eléctricos Industriales utilizando Técnicas de Inteligencia Artificial.



Andrea Alejandra Eras Almeida.- Nació en Loja, Ecuador en 1985. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca en el año 2010. Desempeñaba labores en el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER y actualmente cursa una maestría en España.

Sus principales áreas de interés están enmarcadas en la Eficiencia Energética de Sistemas Eléctricos de Potencia.