

# Diseño de una interfaz prepago de energía eléctrica para contadores electrónicos monofásicos residenciales

Desig of an interface for prepaid electricity with residential single phase electronic meters

Mauricio Holguín Londoño<sup>1\*</sup>, Germán A. Holguín<sup>2</sup>, Álvaro Ángel Orozco Gutiérrez<sup>3</sup>  
<sup>123</sup>Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.  
 mau.hol@utp.edu.co  
 gahol@utp.edu.co  
 aaog@utp.edu.co

**Resumen**— Las empresas comercializadoras de energía vienen implementando soluciones tanto para pérdidas no técnicas como para la recuperación de cartera morosa. Una posibilidad latente para mejorar esta situación es la aplicación de un sistema prepago y de recarga. El mayor inconveniente actual en su implementación, es el costo elevado de los medidores prepago de energía. Una alternativa corresponde al diseño de un dispositivo a base de microcontroladores, que se adapte a los medidores electrónicos existentes en el mercado. En este documento se muestra el diseño de una interfaz prepago de energía que resulta en una alternativa de bajo costo y permite interactuar tanto con el contador de pulsos como con el usuario.

**Palabras clave**— automatización, contador prepago de energía, microcontrolador, pérdidas no técnicas.

**Abstract**— The energy trading companies are implementing solutions for non-technical losses to nonperforming portfolio recovery. A latent possibility to improve this situation is to implement a system for energy and recharge prepaid. The biggest drawback in current implementation is the high cost of energy prepayment meters. An alternative corresponds to design a microcontroller-based device, that suits electronic meters on the market. This paper shows the design of an interface energy prepayment resulting in a low-cost alternative to interact both with the pulse counter as with the user.

**Key Word**— automation, microcontroller, non-technical losses, prepaid electricity interface.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se viene percibiendo el crecimiento de métodos que incluyen la cultura prepago en diferentes

servicios, en medicina tuvo sus comienzos en los Estados Unidos y fue creado en beneficio del personal militar y de la marina.

Su evolución se ha tornado con mayor fuerza después de los años 20 del siglo anterior, por su parte en la telefonía su propagación ha permitido que personas geográficamente muy alejadas pueden sentirse incluidas en la sociedad y en el mercado. La gran acogida que han tenido los sistemas prepagos de telefonía celular ha abierto la puerta a la utilización de este esquema tarifario en los servicios de energía eléctrica a nivel residencial.

Este modelo económico les permite a los usuarios de estratos 1, 2 y 3 principalmente, acceder a un servicio que de otra manera no podría tener por la irregularidad de sus ingresos [1].

Los sistemas de prepago de electricidad, orientados a los sectores urbanos más pobres y a las zonas rurales, prometen una disminución significativa en el costo de la prestación del servicio en estas zonas, debido a que esta práctica comercial permite eliminar muchas de las actividades propias del sistema postpago como lecturas del medidor, emisión de facturas, corte y reconexión, morosidad en el pago de las facturas, etc.

La energía eléctrica es un factor fundamental en el desarrollo de las sociedades modernas. Donde el mayor porcentaje de la demanda, aproximadamente el 44% del total de la energía del sistema eléctrico nacional, se encuentra en el sector residencial [2].

Para las empresas prestadoras del servicio de energía, uno de los grandes problemas son las agudas relaciones de pérdidas no técnicas y las deudas adquiridas por los usuarios con difícil recuperación. Debido a las aseveraciones nombradas, se

disminuye la capacidad de reinversión en la infraestructura eléctrica y por ende la baja calidad en la prestación del servicio.

Los estratos 1, 2 y 3 son los más afectados en cuanto a los cobros por carencia de una cultura de autocontrol en su consumo y la necesidad de racionalizar ante el conocimiento del valor que pueda llegar a tener la energía facturada [3].

El desarrollo propuesto de la interfaz permitirá tanto al usuario como al comercializador de energía gozar de una serie de beneficios que darán satisfacción a ambas partes. El sistema del control de energía eléctrica monofásica residencial favorece el uso racional de la energía, este método ha sido incluido en mercados de diferentes países como Argentina, Perú, y Colombia; donde este último es de especial interés por la implementación de un plan piloto en la ciudad de Medellín, contando con vigencia y buenos resultados [4].

Como resultado, las comercializadoras de energía pueden reducir las pérdidas no técnicas e incrementar sus activos, además obtener fácilmente la recuperación de la cartera morosa mediante abonos; esto al realizar recargas de energía que es lo que se viene implementando en países con sistema prepago.

En el diseño y simulación del prototipo de la interfaz electrónica que permite la interacción con el medidor electrónico de energía eléctrica monofásico se utilizaron dos microcontroladores, el PIC 16F84A y el PIC 1877 que se comunican serialmente, otorgándole características del sistema prepago al contador en ambientes residenciales, por otro lado se encomendó la simulación al programa PROTEUS® Versión 7.7.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Generalidades

Con el permanente desarrollo industrial, y la consecuente búsqueda del abaratamiento de la producción por parte de las fábricas, se hizo necesaria la aplicación de tarifas más complejas.

Es importante comprender que la economía de la producción de la energía eléctrica depende de su modo de utilización, y este a su vez de múltiples factores. Dichos factores dieron origen a la creación de una gran variedad de medidores de energía, los cuales realizan un proceso de tarifado que obliga al consumidor a ajustar sus instalaciones y su equipamiento, como también los horarios de su funcionamiento, de tal manera que la compañía productora trabaje con el mayor rendimiento de sus instalaciones de distribución. De esta manera, la energía eléctrica puede ser ofrecida a menores costos.

Históricamente, la medición de la energía eléctrica consumida por un determinado usuario fue y sigue siendo en muchos casos, el medidor electromecánico. En la actualidad los medidores de energía eléctrica convencionales se han ido reemplazando lentamente por dispositivos electrónicos que ofrecen mayor seguridad, eficiencia y flexibilidad para la medición de diferentes parámetros eléctricos.

Estos equipos poseen memoria no volátil para almacenar datos referidos al comportamiento del sistema, que permiten realizar un seguimiento del mismo, además permiten un mejor control contra fraude o hurto de energía [5].

### B. Microcontroladores

Están diseñados para ser empleados en aplicaciones especiales, donde se requiere en muchas ocasiones portabilidad, bajo consumo de potencia y trabajar en espacios reducidos [6].

Sin importar a que familia pertenezca un microcontrolador, todos presentan básicamente la misma estructura, una unidad central de proceso, buses para el intercambio de datos, memoria de datos y memoria de trabajo, circuitos de reloj, puertos para comunicación y puertos para periféricos; elementos necesarios para el desarrollo del prototipo.

### C. Comunicaciones e interfaz HMI

Entre los aspectos prácticos a tener presente para la realización de comunicación e interfaz HMI con el microcontrolador se tienen:

#### Comunicación serial:

La mayoría de dispositivos electrónicos están equipados con puertos de comunicación bajo diferentes plataformas, serial, paralela, inalámbrica, entre otras [7].

La principal característica de dichos puertos es que admiten el intercambio de información entre diferentes elementos electrónicos, lo cual permite que equipos de diferentes tecnologías puedan intercambiar datos.

Entre los diferentes métodos de comunicación, se emplea en este diseño el RS232, que es la plataforma más utilizada y difundida para la transmisión de datos en corta distancia.

#### Manejo del LCD:

El módulo LCD responde a un conjunto especial de instrucciones; estas deben ser enviadas por el microcontrolador o sistema de control al display, según la operación que se

requiera, en este caso la visualización de las variables manejadas en el sistema, como la hora y la fecha, la carga disponible, la solicitud de los códigos o claves necesarias para operar el sistema entre otros.

Teclado matricial 4x4:

Su constitución se basa esencialmente por un conjunto de filas y columnas conductoras [8], en cuyo cruce se encuentra un pulsador mecánico o de membrana que al ser pulsado, establece el contacto eléctrico entre la fila y la columna correspondiente, indicando la orden específica a realizar.

En el teclado matricial de 4 filas por 4 columnas, las líneas del microcontrolador correspondientes a las filas se han configurado como salidas y las correspondientes a las columnas como entradas.

III. METODOLOGÍA DE DISEÑO

A. Conceptualización.

El prototipo básico consiste en acoplar al medidor electrónico tradicional, la interfaz desarrollada en el proyecto para darle características de tipo prepago a dicho medidor. En su conjunto, se obtiene un dispositivo que solo suministra la energía que haya sido previamente adquirida y cargada en el equipo.

Este dispositivo se implementa a partir de dos bloques o secciones; el Sector de Medición y Registro (*SMR*) y el Módulo del Usuario (*MU*). Estos dos bloques, y su interacción se puede observar en la figura 1.

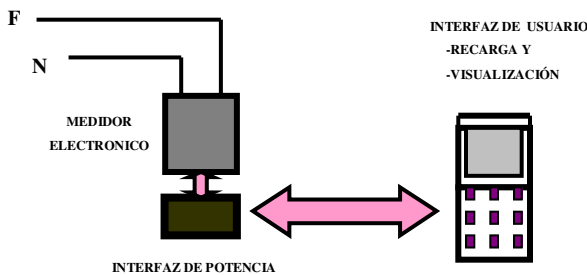


Figura 1. Bloques del diseño

B. Interfaz de potencia

Es la sección encargada de recibir los pulsos de entrada provenientes del medidor de energía electrónico, y los cuales se procesan mediante los programas establecidos para realizar gobierno sobre la señal de potencia tanto a nivel de corte o conexión desde la interfaz de usuario.

La interfaz de potencia está conformada por cinco bloques: el contador electrónico, el circuito controlador de pulsos, la interfaz de comunicación RS232, el controlador de corte y reconexión de la carga y la CPU conformada por el PIC 16F84A; los bloques se representan en la figura 2.

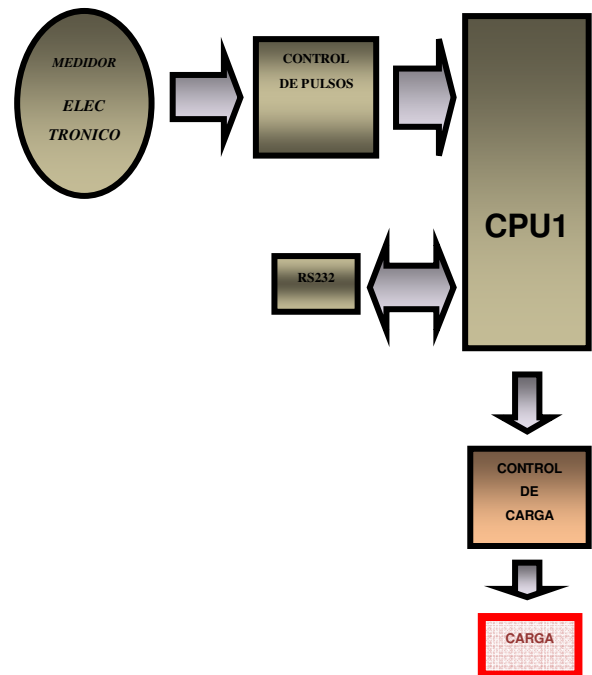


Figura 2. Bloques de la interfaz de potencia

Cada uno de los bloques de la figura 2 realiza una tarea crucial dentro del proceso global de control sobre el corte o conexión de la señal de potencia. Los bloques se describen a continuación:

1. Medidor electrónico

El medidor electrónico de energía realiza una conversión de potencia a pulsos. Su función, es por ende la de un contador de pulsos electrónico. Su alimentación está a cargo de la acometida perteneciente a la residencia como sistema tradicional de medición postpago.

Cuando se le conecta una carga, y dependiendo del tamaño de la misma, inicia el conteo de pulsos con menor o mayor frecuencia según corresponda. Tomando como referencia el medidor electrónico DDS26 STAR, la característica específica con que este cuenta es:

$$1600 \text{impulsos} = 1 \text{kwh}$$

Para una carga de control con un consumo de 1 kw/hora se tiene que: 1600 pulsos se demoran en ser generados 3600s; mientras que para un solo pulso transcurren 2,25s, lo representa una frecuencia de 0,44Hz.

## 2. Control de pulsos

Su función es recibir los pulsos provenientes del contador, estos se aplican a la entrada del reloj, este incrementa su conteo con cada transición de reloj, logrando de esta forma una división de la frecuencia de entrada con una proporción de 1/10.

## 3. Comunicación asíncrona RS232

Ya que la comunicación serial es asíncrona, el puerto puede transmitir datos en una línea mientras recibe datos en otra. Otras líneas están disponibles para el intercambio de pulsos de sincronización pero no son requeridas [8].

## 4. Conexión y desconexión

Este circuito está conformado por una etapa opto acoplada que se encarga de aislar el circuito de control del circuito de potencia. Los relés empleados se encargan de realizar la desconexión o conexión de la alimentación a la carga del sistema. Los relés permanecen cerrados mientras exista crédito disponible, o cortan el suministro cuando el crédito sea insuficiente.

## 5. Microcontrolador PIC 16F84A:

Se seleccionó el microcontrolador PIC16F84A para desarrollar el proyecto de la interfaz prepago de energía, este cuenta con dos puertos A y B [9]. El puerto A cuenta con 5 líneas y el puerto B con 8 líneas, cada pin se puede disponer como entrada o como salida independiente programando los registros diseñados para este propósito, además es de fácil adquisición por su importancia comercial, su versatilidad y bajo costo.

Los pulsos generados son integrados a través de un contador, cuyo valor acumulado resultante representa el total de energía entregado por el sistema desde un determinado instante inicial.

### C. Interfaz de usuario

Se halla vinculada al sistema exclusivamente a través de conexiones de baja tensión y líneas de comunicaciones opto acopladas, absolutamente inocuas para el ser humano. Los bloques se pueden observar en la figura 3.

Con fines de prueba, se diseña un sistema que opera acorde a la adquisición por parte del usuario de un número clave, que dependiendo de su asignación, relaciona un valor codificado de carga equivalente al precio en pesos. El

código seleccionado para la implementación cuenta con diez dígitos.

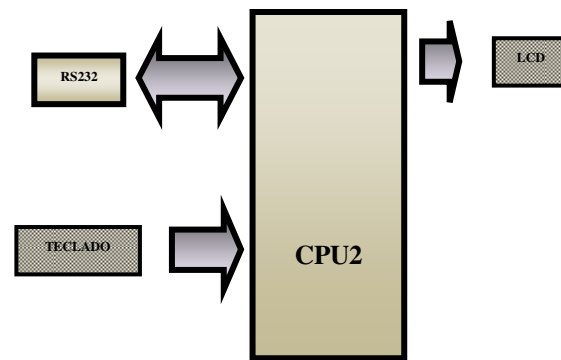


Figura 3. Interfaz de usuario

El código es adquirido por el usuario desde el prestador del servicio y se debe de ingresar mediante el teclado perteneciente al terminal de usuario. El sistema, tras reconocer la clave como válida, acredita de forma instantánea la energía adquirida. La creditación habilita el suministro o lo mantiene si se dispone previamente de crédito remanente.

Se debe tener en cuenta que este código puede ser utilizado una sola vez, ya pierde su vigencia para una nueva recarga si se ha empleado con anterioridad, aun para el mismo equipo y para la misma cantidad de energía comprada.

El módulo de usuario posee un teclado numérico y de funciones, un módulo de cristal líquido (LCD) y el microcontrolador PIC 16F877. Este último tiene entre sus principales funciones el enlazamiento serial con el microcontrolador del módulo de potencia.

La base de datos se emplea como una señal de ingreso y una señal de salida para el microcontrolador ó bloque de registro y control. Para tener acceso, únicamente se autoriza personal de la empresa prestadora del servicio, ya que deben ser los únicos con conocimiento sobre los detalles del funcionamiento.

La única información disponible para el usuario, a nivel de configuración, es el registro del número clave para una nueva compra. Este código se visualiza al usuario al ingreso del mismo y cuando el equipo realice un corte debido a la carencia de crédito.

Para que el cerebro del módulo de control realice sus funciones de un modo eficaz, se emplean lenguajes de programación como PIC CCS C y MPLab para los microcontroladores 16F877 y 16F84A respectivamente.

La figura 4 representa el diagrama de flujo del programa con que opera el microcontrolador del módulo de potencia, mientras que la figura 5 presenta el diagrama de flujo que constituye el algoritmo a utilizar en el microcontrolador del panel de control.

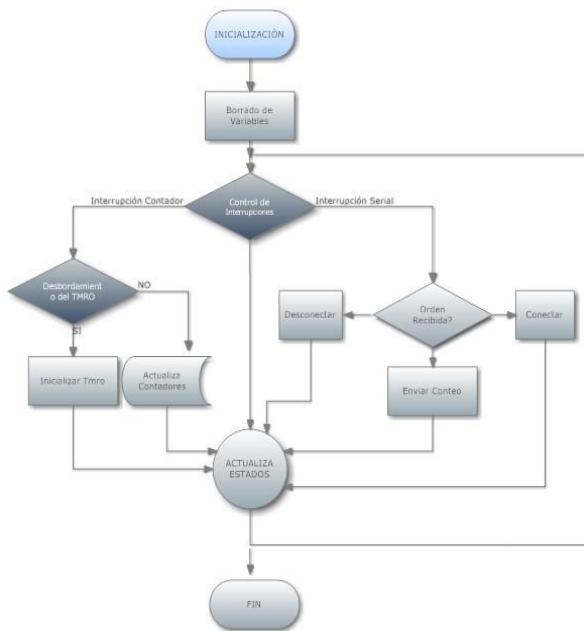


Figura 4. Diagrama de flujo para microcontrolador de la interfaz de potencia

En el esquema representativo del algoritmo empleado en el microcontrolador PIC16F84A se hace referencia a algunas subrutinas, entre las cuales las principales son:

**T\_UCT:** Esta se encarga de generar los retardos necesarios para poder implementar la comunicación serial, los cuales son el retardo para el bit de transmisión y el retardo de 1/2 bits; estos retardos se logran gracias a decrementos sucesivos de los registros R1 y R2 , ya que en estos se almacenan los valores necesarios para conseguir cada retardo.

**RECIBE:** La función de esta subrutina es leer los datos presentes en la entrada RX, con el fin de capturar los bits enviados por la interfaz de usuario, para esto la subrutina se encarga de detectar el bit de inicio de la transmisión, almacenar cada bit transmitido y finalizar la recepción cuando sea han recibido los 8 bits de datos.

En esta subrutina se hace llamado a la subrutina anterior “T\_UCT”.

**SEND:** El papel que desempeña consiste en enviar cada uno de los bits que se desean transmitir a la interfaz de usuario; acá se genera el bit de inicio a la comunicación y el bit de stop o fin.

**INCRED:** Esta subrutina lleva a cabo el conteo de los pulsos provenientes del contador, el conteo se realiza a través de sumas sucesivas en los registros destinados para tal fin; cada vez que se invoca esta rutina, el registro de pulsos se incrementa.

**VERF:** Realiza la comprobación de las órdenes recibidas a través del puerto serial y determina a que subrutina se debe enviar el contador del programa; si a la subrutina de conexión (ENVCON), desconexión (ENVDES) o a la subrutina que envía los pulsos (ENVDATO).

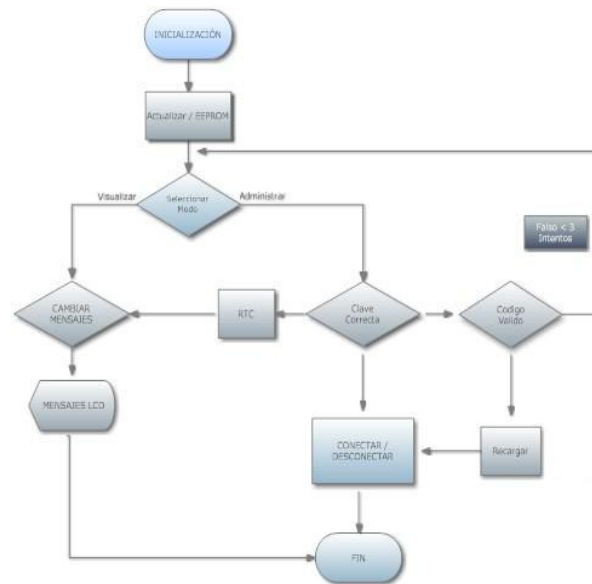


Figura 5. Diagrama de flujo para microcontrolador de la interfaz de usuario

Para el diagrama de flujo representativo del programa alojado en el microcontrolador PIC16F877 se tuvieron en cuenta las subrutinas necesarias.

A continuación se mencionan algunas de las más importantes:

**TECLADO:** Esta rutina se implementa con el fin de realizar el control de un teclado matricial 4x4, que se encarga de reconocer que teclas han sido presionadas y devolver el código ASCII de las mismas.

**LCD:** Rutina dispuesta con el fin de mostrar en el LCD cada uno de los mensajes que se le envían, administrando las funciones de: borrado de pantalla, cambio de línea y parpadeo de los mensajes.

**RELOJ:** Su principal función es la configuración de los parámetros de reloj de tiempo real, como la hora y la fecha, permitiendo que el usuario actualice la hora y la fecha. Estas funciones están disponibles solo para configuración prestada por personal de la empresa prestadora.

**BLOQUEO:** Esta subrutina tiene la tarea de detener el funcionamiento de la interfaz de potencia cuando se detecta que se ha realizado la apertura de dicha unidad. El funcionamiento solo se puede restablecer con el ingreso de un código de seguridad.

**RECARGA:** pertenece al grupo de subrutinas más importantes de la interfaz de usuario, ya que permite la verificación de los códigos ingresados, determinando la carga correspondiente a cada uno de ellos y la deshabilitación de los códigos ya utilizados.

**MENU\_ADMIN:** permite la total interacción del usuario con el panel de control, gracias a su funcionalidad de enviar al LCD los mensajes necesarios para permitir al usuario recargar, reconfigurar el sistema o visualizar el consumo.

#### IV. RESULTADOS

En la necesidad de ir implementando un correcto desarrollo del prototipo, este se construyó bloque por bloque y se analizaron todos los parámetros para observar el perfecto funcionamiento de todo sus aspectos; por tal razón en el diseño de cada parte se realizaron los ensayos correspondientes y a su vez pruebas rigurosas de validación, bajo el mando de las instrucciones del programa etapa por etapa, verificando que arroje los resultados esperados.

La foto de la figura 6, muestra los bloques físicos del prototipo desarrollado.

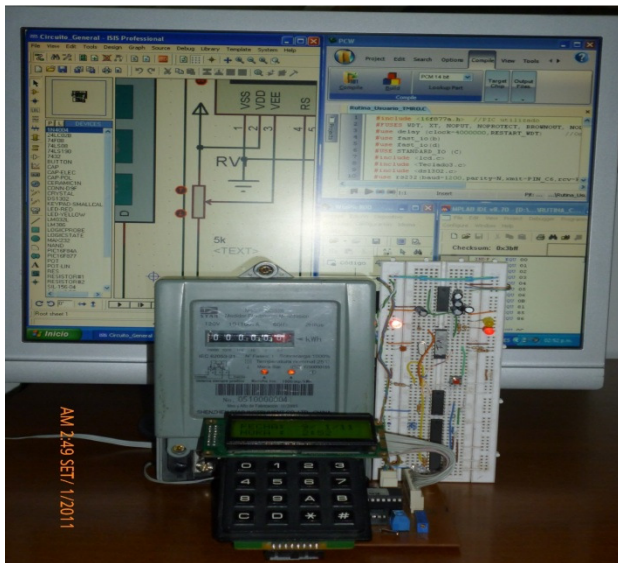


Figura 6. Prototipo

Para el prototipo, se realizó la simulación de carga en 1º escenarios diferentes y con una frecuencia de generación de pulsos a 2 Hz. Además se crearon instrucciones de programación con algunos códigos de recarga de energía por diferentes valores y también se estipuló un valor de 1 kw/H promedio entre el precio de los diferentes estratos existentes en la región para simular la recarga y consumo de en la unidad. Progresivamente cada consumo disminuye el crédito. Se pudo constatar la disminución total del crédito desde un nivel de crédito superior prefijado en el

tiempo esperado. Además se realizó prueba de recuperación de excedente de consumo prestado, el cual debe aparecer como una adición a la siguiente recarga.

#### V. CONCLUSIONES

Comparando los sistemas para el manejo de la medición en la comercialización de energía, se puede decir que en el sistema tradicional se efectúa inicialmente el consumo y luego su lectura en el medidor. Es la venta de un producto que primero se consume y luego se cobra.

En el momento de vencimiento de la factura del servicio, el pago se realiza previa y correctamente, se entra en un ciclo de consumo-pago, de lo contrario el usuario se convierte en un deudor moroso lo que lleva a cortes y reconexiones de energía eléctrica que pueden ser legalizadas mediante el pago de la deuda o volverse en fraudulentas cuando no se haga efectiva la cancelación. Este tipo de manejo acarrea problemas de pérdidas para la empresa prestadora del servicio.

Por otra parte, en el sistema prepago se evita este inconveniente gracias a que el usuario adquiere de forma anticipada la energía que desea consumir evitando costos de facturación, medición, corte y reconexión. Es la venta de un producto que primero se cobra y luego se consume.

Algunas ventajas del sistema prepago son:

- El sistema permite que un usuario realice su adquisición de energía, amoldando sus necesidades a la capacidad de pago y a programaciones de consumo.
- El usuario evita molestias como corte de energía y salva sobrecostos debido como los intereses moratorios y los derivados por reconexión.
- Se crea una cultura de ahorro y sostenibilidad, utilizando solamente la energía cuando se es necesario y evitando así los despilfarros. De esta manera el consumidor entra a la cultura de la eficiencia en el empleo de la energía.
- Para el caso de inmuebles en arrendamiento, el arrendador se libra de cobros inesperados por facturas que el arrendatario haya dejado de pagar al entregar el inmueble o inconvenientes derivados de reconexiones .
- La empresa prestadora del servicio, puede reducir las pérdidas no técnicas e incrementar sus activos. Además puede obtener la recuperación de la cartera morosa mediante abonos.
- A futuro, se puede implementar un mecanismo mediante la utilización de una interface de



comunicación que permita la obtención de la información y reportes históricos para la empresa.

#### REFERENCIAS

- [1] Servicios Públicos Domiciliarios. [En línea]. Bogotá D.C., 2003. [Consultado 07 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <http://www.presidencia.gov.co/planacio/index.htm>
- [2] Colombia, Ministerio de Minas y Energía. Plan de Expansión de Referencia. Bogotá D.C.: Unidad de Planeación Minero Energética, 2006, 200 pág.
- [3] Colombia, Ministerio de Minas y Energía. Resolución No.067, del 20 de Octubre de 2004. Santafé de Bogotá: Diario Oficial No. 45.707, 2004. 8 pág.
- [4] Adjudicados equipos y sistema de venta y recaudo para masificar el programa de energía prepago [en línea]. Medellín: Empresas Públicas de Medellín, 2007. [Consultado el 13 de Junio de 2012]. Disponible en Internet: <http://www.eppm.com>
- [5] Medidores Prepago. [En línea]. Perú, 2001. [Consultado 10 de Abril de 2012]. Disponible en Internet: <http://www.adinelsa.com.pe>
- [6] Usategui Angulo, José; Martínez Angulo, Ignacio. Microcontroladores PIC. Madrid. Prentice Hall, 1999, 279pág.
- [7] Ramírez Delgado, Wilder. Implementación de una interfaz de Comunicación Serial Virtual en un Microcontrolador PIC 16F84. Manizales Caldas, 2.004, 91pág. Centro de investigaciones y desarrollo, Universidad de Manizales, Facultad de Ingeniería Eléctrica.
- [8] Duque C, Edison, Curso Avanzado de Microcontroladores PIC. Pereira, 1998, 156pág.
- [9] Hintz, Kenneth; Tabak, Daniel. Microcontrollers Architecture, Implementation and Programming. Singapur, 1.992, Mc Graw Hill.