

Sistema de monitoreo y control inalámbrico de potencia activa

Revista *Tekhnê*: ISSN 1692-8407. 2013, Vol. 10, No 2, 42–54

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2013

Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2013

Autores, afiliación, e-mail: 1.) William Alejandro Aristizábal Bossa. Universidad de los Llanos. William.alejo17@hotmail.com. 2.) Diego Iván León Hernández. Universidad de los Llanos. diego.warlord@hotmail.com. 3.) Edwar Jacinto Gómez. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. ejacintog@udistrital.edu.co

Resumen

Este artículo se enmarca en la problemática del calentamiento global desde el punto de vista del consumo energético, que es uno de los factores predominantes que lo agudizan. Es deber del ciudadano común tomar un papel protagónico en combatirla, y el de la ingeniería consiste en proponer soluciones sostenibles, a fin de contribuir a la preservación del ambiente y de la humanidad. En este contexto, y asumiendo nuestra responsabilidad como ingenieros, se elabora la propuesta de un sistema de monitoreo y control inalámbrico que permita reducir el consumo energético en los hogares suscritos a la Electrificadora del Meta. Se logra el prototipo de un sistema de monitoreo y control inalámbrico para el ahorro energético en los hogares suscritos a dicha empresa electrificadora, compatible con el medidor digital inalámbrico en desarrollo por Sypelc Ltda.

Palabras clave: control inalámbrico, medición, monitoreo, potencia activa

Monitoring and wireless control of active power

Abstract

This paper focuses on the problem of global warming from the point of view of energy consumption, this being one of the predominant factors that exacerbate it. It is the duty of ordinary people to take a leading role in combat, and engineering to propose sustainable solutions, thus contributing to the preservation of the environment and humanity. In this context, and assuming our responsibility as engineers, we elaborate the proposal of a monitoring system that allows wireless control and reduce energy consumption in households subscribed to the power company of Meta. We achieved a prototype of monitoring and wireless control system for energy saving in households subscribed to the power company of Meta S. A. E. S. P., which is compatible with the wireless digital meter developed by Sypelc Ltda.

Palabras clave inglés: active power, measurement, monitoring, wireless control.

Introducción

La ingeniería a escala global está realizando innumerables esfuerzos para lograr un desarrollo sostenible; ejemplos como la domótica, hogares ultraeficientes diseñados para emplear el mínimo de recursos energéticos, la generación de energías renovables para sustituir las tradicionales son solo algunos de ellos. Grupos de investigación y compañías como Google están desarrollando tecnologías que permitan conocer y controlar el consumo energético. Este trabajo busca aportar, de forma paralela a los desarrollos en otros países, una solución a esta problemática y a la vez promover el desarrollo tecnológico en la región abordando la problemática de manera autóctona, es decir, ajustándose a las necesidades, costumbres y recursos de la población.

El crecimiento demográfico, el desarrollo de la industria y el calentamiento global están ligados de manera directa a un incremento en el consumo de energía eléctrica; esta situación se ha presentado en todo el país, y el departamento del Meta no es la excepción. Esto, sumado a una cultura que no toma conciencia sobre la necesidad de ahorrar energía, provoca en entidades prestadoras de servicio preocupación ante un futuro desabastecimiento energético; año tras año es necesario un incremento en la tasa generadora de energía para satisfacer en cierta medida la creciente demanda.

En la actualidad la generación de energía eléctrica en centrales del país se reparte con 4.4 GW de naturaleza térmica y 9.1 GW de naturaleza hídrica (Ministerio de Minas y Energía y UPME, 2010). Si bien en la generación hidroeléctrica no se producen cantidades considerables de contaminación, se intervienen las fuentes hídricas de los ecosistemas desequilibrándolos y desabasteciéndolos, lo que impacta negativamente el ambiente. La principal forma de generación de energía eléctrica en Colombia ocasiona indirectamente, pero no de forma despreciable, el calentamiento global. Esta es una de las problemáticas más preocupantes y de mayor investigación en el mundo en los últimos años. Profesionales de distintas áreas y países trabajan fuerte e incesantemente por contribuir con la conservación del ambiente y de la vida en la tierra.

La principal demanda de energía eléctrica en Colombia es ocasionada por el sector residencial, el cual representa el 42.2 % frente a la demanda de sectores como industrial 31.8 %, comercial 18 %, oficial 3.8 %, otros usos 4.3 % (Ministerio de Minas y Energía y UPME, 2007). Esto pone en evidencia el papel del ciudadano, desde su hogar, en contribuir a combatir la problemática.

Los precios del consumo de energía presentan una tendencia al alza como consecuencia del carácter perecedero de las energías no renovables. En el departamento del Meta, en los últimos tres años el costo de la electricidad ha aumentado más de un 30 % (EMSA Electrificadora del Meta S. A. E. S. P., 2013), lo cual no se compensa en el incremento en los ingresos de las familias colombianas y hace cada vez más difícil su subsistencia y lleva a incurrir en deudas con la empresa prestadora del servicio o a realizar conexiones ilegales a la red eléctrica.

Las empresas prestadoras de servicios públicos están obligadas, entre otras, a “informar a los usuarios de la manera de utilizar con eficiencia y seguridad el servicio público respectivo” (Ley 142 de 1994, artículo 11) y “garantizar la calidad y continuidad del bien objeto del servicio público” (Ley 142 de 1994, artículo 2). Emsa S. A. E. S. P. recibe continuos reclamos de usuarios insatisfechos por su alto consumo eléctrico o por deficiencias en el suministro de potencia eléctrica, ocasionadas por sobrecargas en los circuitos, a su vez producto de excesivos gastos de energía, presentes en equipos o instalaciones defectuosas.

De lo anterior se deduce la gran importancia que tiene el ahorro energético en los hogares, que es una solución a problemas socioeconómicos, ambientales y de prestación de servicio. El Estado y las empresas prestadoras de servicio eléctrico como Emsa realizan esfuerzos para promover la conciencia del uso eficiente de la energía eléctrica; a pesar de ello, no han sido efectivos debido a descuidos, accidentes, electrodomésticos averiados o ineficientes; además, la escasa información que posee el usuario sobre su propio consumo impide tomar conciencia y medidas para llevar a cabo una autorregulación del mismo.

Formulación del problema Se plantea como posible solución a la problemática mencionada el sistema que se describe en la figura 1.

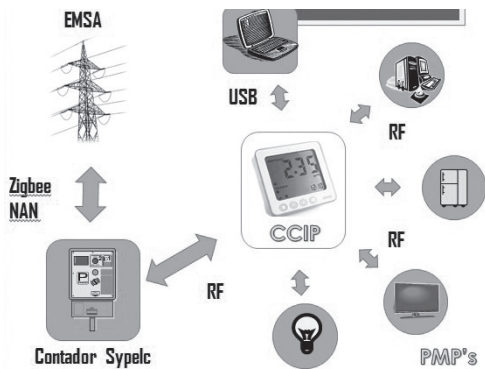


Figura 1. Sistema general.
Fuente: elaboración propia.

Las empresas Sytelc Ltda. y Emsa actualmente se encuentran en el desarrollo de un contador digital de potencia activa con comunicación inalámbrica con protocolo Zigbee, que pretende automatizar la lectura del consumo de los hogares y la conexión y desconexión del fluido eléctrico. Cuentan ya con un prototipo que tienen en periodo de prueba y están desarrollando la red para la recolección de los datos de consumo hacia la base de datos de la compañía.

El sistema prototipo, que se integrará a la red de Sytelc-Emsa, consiste en dos módulos: los PMP (periféricos medidores de potencia) y red de comunicación y el C2IP (centro de control e información de potencia). El periférico medidor de potencia cumplirá dos funcionalidades esenciales sobre la carga o electrodoméstico en el que se encuentre conectado: la medición y transmisión de su consumo de potencia activa, y conmuta el suministro de electricidad.

En las figuras 2 y 3 se muestran los diagramas de bloques de ambas funciones.

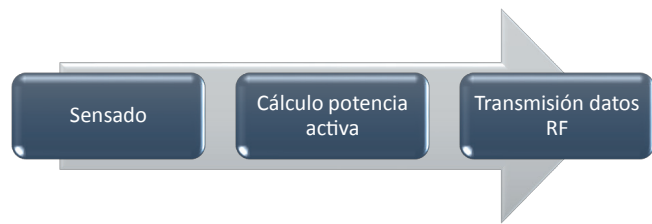


Figura 2. Diagrama de bloques PMP parte A
Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Diagrama de bloques PMP parte B
Fuente: elaboración propia.

La red de comunicación (figura 4) que está en desarrollo por Sytelc, así como su prototipo de medidor digital de potencia activa, se soportan sobre la tecnología Zigbee de transmisión inalámbrica. La red de comunicación en el interior del hogar debe ser compatible con el medidor de Sytelc para interactuar con él, tener estabilidad y fiabilidad para la recolección de datos de medición de potencia, permitir ser instalada en varios hogares sin pérdida ni interferencia de datos y posibilitar el ahorro de energía.

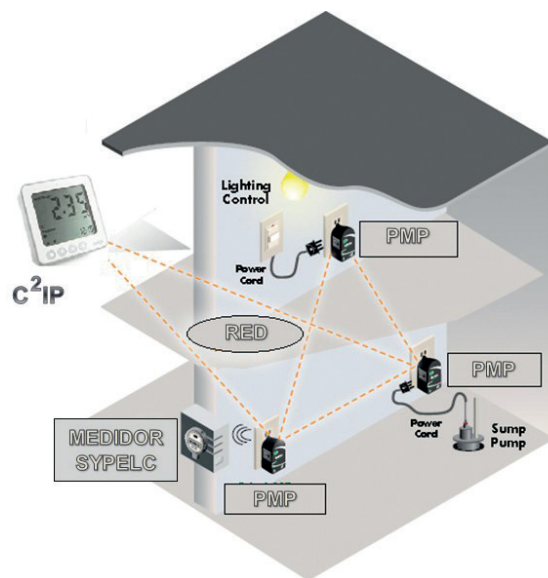


Figura 4. Red de comunicación
Fuente: elaboración propia.

El centro de control e información de potencia cuenta con dos procesos: uno para controlar la conmutación de la energía eléctrica que pasa a través de los PMP, de acuerdo con las necesidades de ahorro de los usuarios predeterminadas mediante la configuración de entrada, y uno que se encarga de la gestión de la información que suministran los PMP sobre la potencia que ha sido consumida.

Metodología

Red de comunicación

Se realizó, por medio de documentación, la selección de la tecnología inalámbrica. Posteriormente, mediante documentación y experimentación, la topología de red a implementar que se consideró más apropiada para esta aplicación.

Como primera medida para seleccionar la tecnología, se decidió trabajar en un espectro no licenciado. Esta decisión es influenciada principalmente por el carácter económico del proyecto. El espectro no licenciado tiene su debilidad en escenarios urbanos donde existen varios operadores inalámbricos y es susceptible de interferencia; también posee restricciones del nivel de potencia que los organismos de legislación imponen por el uso de estas bandas. Sin embargo, las tecnologías WPAN que emplean bandas libres utilizan técnicas para evitar interferencias y lograr difusión empleando muy baja potencia.

Al seleccionar una tecnología estandarizada posibilitará, en un futuro, que el sistema desarrollado sea interoperable, es decir, compatible con otro tipo de dispositivos como sensores, sistemas de seguridad u otras aplicaciones que empleen el mismo estándar. Además garantiza la coexistencia con otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi.

A continuación se establecen los criterios para determinar el tipo de tecnología de WPAN a implementar, enunciados en orden de prioridad:

- Consumo de energía: debe ser muy bajo por el propósito de este proyecto de ahorrar energía.
- Costo: bajo para no incrementar considerablemente el precio final del prototipo que debe estar al alcance de la mayoría de los usuarios.
- Escalabilidad: que permita adicionar dispositivos a la red según las necesidades del usuario, es decir, que ofrezca versatilidad.
- Introducción al mercado: que los componentes y módulos de la tecnología sean accesibles.
- Complejidad: no debe ser alta, por el tiempo de desarrollo que se dispone.
- Tasa de transferencia de datos: no es necesario que tenga gran ancho de banda, únicamente se transmitirá texto y la medición de la potencia.
- Compatibilidad: que la tecnología tenga compatibilidad con el contador digital inalámbrico de Sypelc, evitando módulos adicionales para comunicarse con este.

Se preseleccionaron tres tecnologías estandarizadas, Bluetooth, WiMedia y ZigBee, como candidatas a implementar. Se seleccionó finalmente la tecnología ZigBee como la más apropiada para la aplicación de acuerdo con la relación costo/desempeño. Se seleccionaron los módulos XBee Pro series 2 XB24-Z7CIT para desarrollar el proyecto, únicamente por las ventajas de adquisición, al igual que sus herramientas y accesorios.

De acuerdo con la necesidad específica del proyecto de crear una red de PMP, se determinó utilizar la “especificación ZigBee” descartando el uso de la “especificación ZigBee RF4CE”. Al mismo tiempo se seleccionó el conjunto de características ZigBee Pro, ya que está optimizado para bajo consumo de energía, puede formar redes grandes y el contador digital de Sypelc implementa ZigBee Pro facilitando la comunicación con él.

Topología de red

Atendiendo a las especificaciones para la red de comunicación y las topologías de red que nos permite la tecnología seleccionada, se propone la siguiente topología.

Topología residencial

Lógica

En el interior del hogar se pretende realizar comunicación dúplex entre cada dispositivo PMP y el C2IP. La comunicación entre los PMP no será necesaria. Por este motivo se determina una topología estrella que se observa en la figura 5.

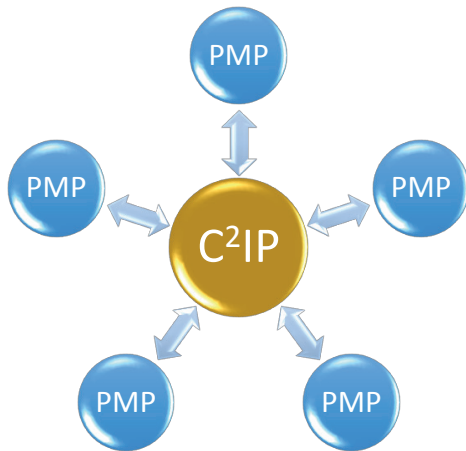


Figura 5. Topología lógica residencial. Fuente: elaboración propia.

Física

Se implementará una topología estrella donde el C2IP se desempeñará como un dispositivo de función completa (full function device) que es router o coordinador; este dispositivo está en continua operación y mantiene la red en actividad (figuras 6 y 7). Los PMP serán dispositivos finales (end device), pues solo es necesario que operen durante cortos lapsos, de modo que contribuyen al ahorro de energía.

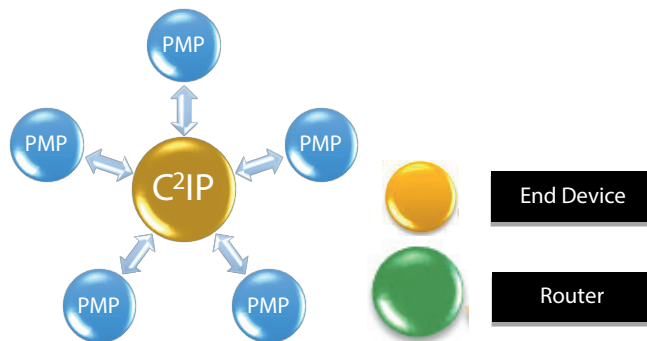


Figura 6. Topología física residencial. Fuente: elaboración propia.

La topología descrita anteriormente está limitada por el alcance de transmisión y sensibilidad de recepción de los dispositivos. Puede ocurrir en la práctica que sea necesario extender el alcance de la red. Para estos casos es necesario implementarla topología cluster tree, en la cual habrá dos o más PMP configurados como router, que tienen la capacidad, utilizando multi-hop, de enrutar los paquetes entre el C2IP y los PMP fuera de su alcance.

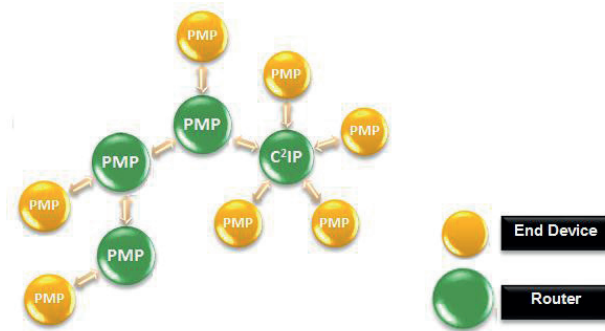


Figura 7. Topología física residencial opcional. Fuente: elaboración propia.

Topología general

Para poder interactuar con el contador digital desarrollado por Sypelc, es indispensable formar parte de su red. La red de Sypelc cuenta con coordinador en la zona, quien crea y asigna los parámetros de la red; cuenta también con los contadores residenciales que operan como router dentro de la red.

Cada red residencial de monitoreo y control de consumo de potencia se integrará a la red de Sypelc como un clúster más, de lo cual resulta una topología cluster tree. En la figura 8 se muestra la topología lógica general.

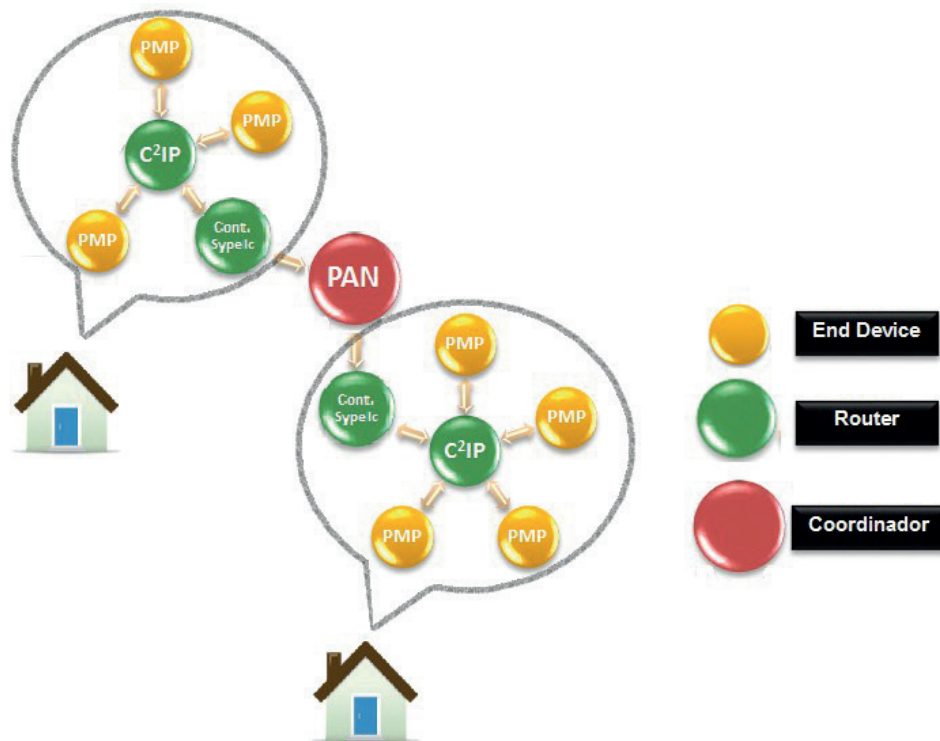


Figura 8. Topología lógica general del sistema.
Fuente: elaboración propia.

En el aspecto físico, se aclara que la topología sigue siendo cluster tree; sin embargo, cualquier PMP (end device) puede tener como padre el router con la mejor calidad de enlace. Es decir, un PMP puede ser hijo del contador de Sypelc o de cualquier router “vecino” que le provea comunicación con su C2IP. Lo anterior lo permite el tipo de enrutamiento mesh implementado por la especificación ZigBee Pro.

Software Test Zigbee

Los módulos XBee-PRO requieren operar en modo API para soportar capacidades de red mesh. La herramienta que ofrece el fabricante (X-CTU) no facilita significativamente el envío de tramas API, lo que imposibilita el desarrollo y las pruebas técnicas de la red. En la web se encuentra únicamente el software ZigBee Operator, desarrollado para aprender, investigar, desarrollar y probar el módulo XBee de Digi en ambos modos de operación: API y AT. Sin embargo, no satisface todos los requerimientos para lograr los objetivos del módulo

de comunicación del proyecto y, además, la licencia no es gratuita.

Para lograr la aplicación del método fue necesario desarrollar una herramienta que lo facilitara. Esta herramienta se desarrolla en el entorno de programación gráfico LabView; sus funcionalidades se describen a continuación (véase figura 9):

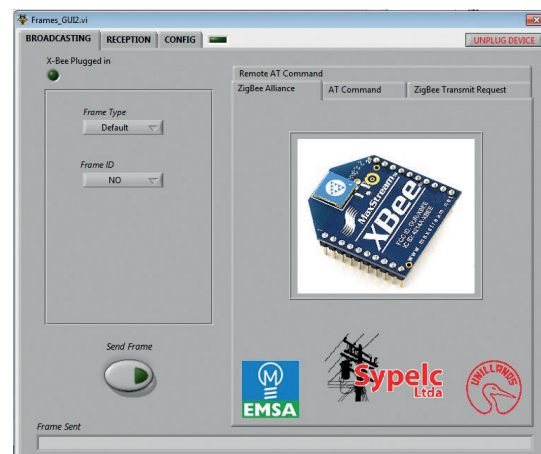


Figura 9. Software Test ZigBee
Fuente: elaboración propia.

Detección de dispositivo

Test ZigBee, al ejecutarse, buscará en los distintos COMM de la computadora módulos XBee conectados (USB-COMM) y autoseleccionará el puerto a ocupar.

Transmisión

La función de transmisión permite, mediante la pestaña Broadcasting, la construcción y envío de tramastales como comandos AT locales (solicitud o configuración), comandos AT remotos (solicitud o configuración) y peticiones de transmisión. En la figura 10 se observa la pestaña Broadcasting.

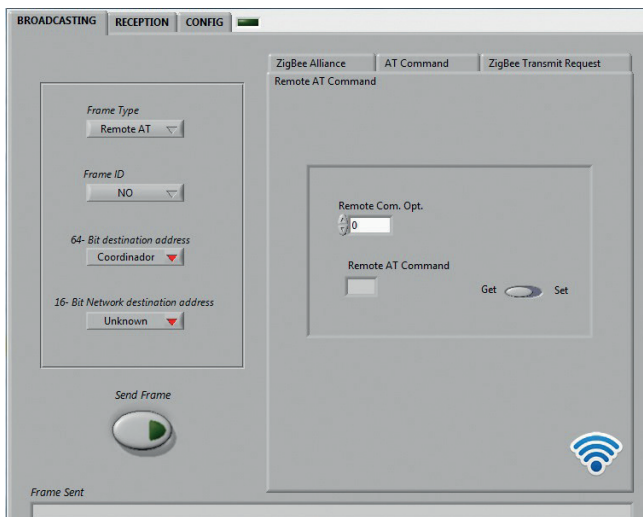


Figura 10. Pestaña Broadcasting de Test ZigBee Fuente: elaboración propia.

Recepción

La función de recepción permite mediante la pestaña Reception la captura y decodificación de tramas provenientes del puerto USB-COMM. Al recibir una trama se muestra identificando el tipo y su respectiva información. Las tramas de recepción que soporta son recepción de paquetes, respuesta a comandos AT locales y respuesta a comandos AT remotos. En la figura 11 se puede observar la pestaña de recepción.

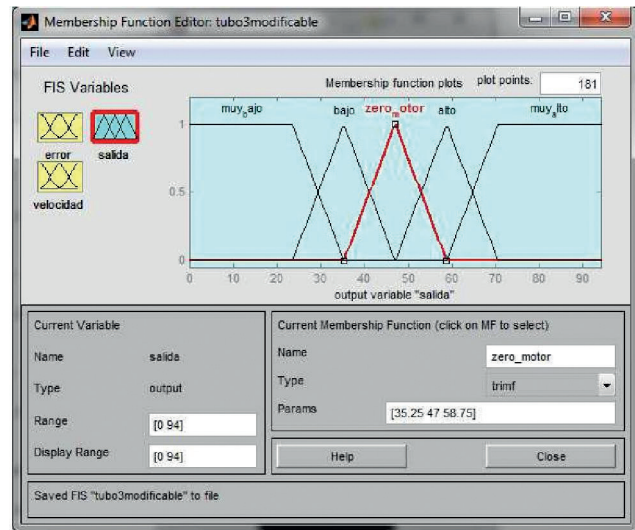


Figura 11. Pestaña Reception de Test ZigBee Fuente: elaboración propia.

Configuración

La función de configuración permite ajustar los parámetros de comunicación serial. En la figura 12 se muestra la pestaña Config.

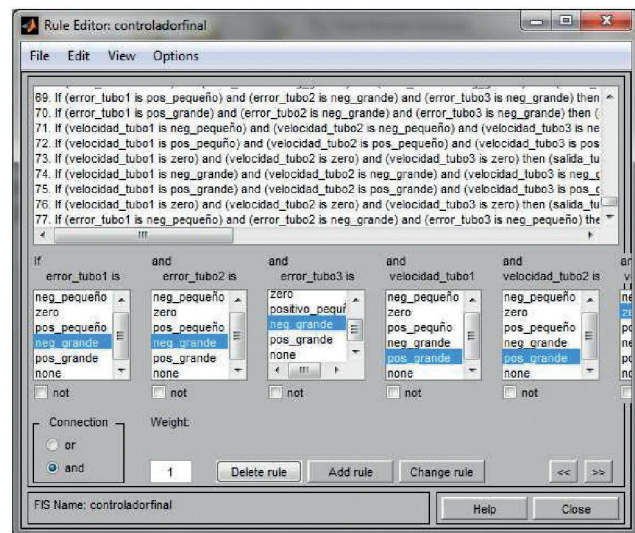


Figura 12. Pestaña Config de Test ZigBee. Fuente: elaboración propia.

Dispositivos

Coordinador Sypelc

Sypelc empleará una compuerta (ConnectPort X Gateway), otro dispositivo de Digi International, como concentrador en cada zona determinada, el cual genera la PAN ID de la red y recolecta los datos de los

contadores digitales inalámbricos para luego enviarlos vía GSM o WAN a la empresa.

Router C2IP

El C2IP, al necesitar comunicarse con la red de Sypelc, debe pertenecer a ella misma; por esta razón, el sistema no puede tener su propio coordinador, sino que se añade a la red ZigBee creada por la compuerta y de este modo forma una topología cluster tree.

End Device PMP

Conforma la última parte de la red; algún router (contador), router (C2IP) o el coordinador (gateway) permiten

su ingreso a la red de Sypelc. Mediante un mensaje especial se une con su correspondiente C2IP y luego, por motivos de ahorro de energía, empieza periodos de sleep.

Diseño medidor de energía

El medidor que se diseña para esta aplicación deberá ser capaz de medir potencias inferiores a 1 W, con la intención de medir electrodomésticos en modo standby. Tendrá que ser compatible para la medición de la mayoría de electrodomésticos. En la tabla 1 se muestra el consumo de potencia de algunos electrodomésticos en funcionamiento usuales en la región.

Tabla 1. Consumo de potencia electrodomésticos

Electrodoméstico	Wattios	Corriente (A) con 120Vac	Electrodoméstico	Wattios	Corriente (A) con 120Vac
Aire acondicionado grande	5 000	41.7	Aire acondicionado pequeño	2 000	16.7
Bombillo 100	100	0.8	Bombillo 150	150	1.3
Bombillo 60	60	0.5	Cafetera	800	6.7
Calentador de agua	2200	18.3	Computador	800	6.7
Congelador grande	800	6.7	Congelador pequeño	400	3.3
Enfriador grande	500	4.2	Enfriador pequeño	350	2.9
Equipo de sonido	150	1.3	Extractor	300	2.5
Extractor eléctrico de jugo	180	1.5	Fotocopiadora	1 500	12.5
Grabadora	100	0.8	Grecas	1 500	12.5
Horno eléctrico	4 500	37.5	Horno micro ondas	1 800	15.0
Impresora	300	2.5	Lavadora/secadora	1 500	12.5
Nevera	300	2.5	Nevera panorámica	1 080	9.0
Olla Eléctrica	1 200	10.0	Plancha	1 000	8.3
Sandwichera	1 200	10.0	Secador de cabello	400	3.3
Teléfono inalámbrico	100	0.1	Televisor	150	0.2

Se determinan los siguientes parámetros de diseño para el medidor:

Ib (Corriente base)	I _{max} (Corriente Máxima)	Vn (Voltaje nominal)
2,5 A ac	20 A ac	120 V ac

Fuente: elaboración propia.

Cabe anotar que el medidor que se diseñe podrá medir corrientes mayores a I_{max}, pero no se podrá garantizar su exactitud. Los parámetros de diseño coinciden para medidores clase 20 según ANSI C12.16.

Emsa, en una primera fase, tiene interés en una aplicación residencial. Como aplicación residencial que es, al usuario de este sector únicamente le atañe el consumo de energía activa, pues es la que finalmente se le factura.

Para la selección del sensor de corriente se consideraron fundamentales los criterios de costo y tamaño. El medidor debe permitir la medición de corriente alterna, corrientes relativamente bajas, ancho de banda bajo, buena linealidad y relativa mediana precisión. El sensor de corriente que cumple con los requerimientos

y, fundamentalmente, representa el de menor costo y tamaño (para medición de 60Hz) es el resistor shunt. Para la medición de energía se selecciona el CI de Analog Devices ADE7757, que además representa muy bajo costo económico (Analog Devices, 2003).

El ADE7757 en su canal de corriente soporta una señal de amplitud máxima de 30mVp (21mVrms) y una tensión en modo común de 6.25 mV. El ADE7757 contiene también un convertidor digital a frecuencia, que cumple la función de arrojar pulsos con frecuencia proporcional a la potencia calculada por el DSP (véase figura 13).

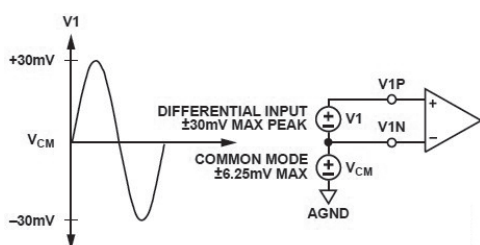


Figura 13. Requerimientos de señal canal de corriente Fuente: tomada de Analog Devices (2003).

El fabricante recomienda que la señal de corriente en I_{max} se establezca cerca a la mitad de la señal (15 mVp o 10 mVrms) que soporta el IC. Lo anterior para lograr mediciones en sobrepicos de corriente, si se presentan. Por lo tanto, al presentarse $I_{max} = 20$ Aac, la señal de entrada al canal debe ser cercana a 10 mV rms.

El medidor se calibra en $I_b = 2,5$ A y 120 V, lo que corresponde a una magnitud sensada de 300Wh (0.3 KWh). El objetivo entonces es obtener 30 imp en una hora, lo que equivale a una frecuencia de 0.0083333 Hz.

Se selecciona una frecuencia de calibración de 6 400 imp/kWh. Para ello se configura el pin SCF por medio de la tabla 2.

Tabla 2. Máxima frecuencia salida CF

SCF	S1	S0	CF Max for AC Signals (Hz)*
1	0	0	$128 \times F1, F2 = 22.4$
0	0	0	$64 \times F1, F2 = 11.2$
1	0	1	$64 \times F1, F2 = 22.4$
0	0	1	$32 \times F1, F2 = 11.2$
1	1	0	$32 \times F1, F2 = 22.4$
0	1	0	$16 \times F1, F2 = 11.2$
1	1	1	$16 \times F1, F2 = 22.4$
0	1	1	$2048 \times F1, F2 = 2.867$ kHz

Fuente: tomada de Analog Devices (2003).

Solamente se puede elegir entre 64 o 32 veces la frecuencia $f1, f2$, elegir $S1=0$ y $S0=1$; se selecciona $SCF=0$ para obtener 6 400 imp/kWh en el pin CF.

La salida de frecuencia del pin CF se empleará para calibración y para registrar el consumo mediante un microcontrolador.

La señal de voltaje de la red debe ser atenuada mediante un divisor resistivo y conectado al canal de voltaje del ADE7757. El canal de voltaje soporta una señal máxima de 165mVpp; en la figura 14 se observan los requerimientos.

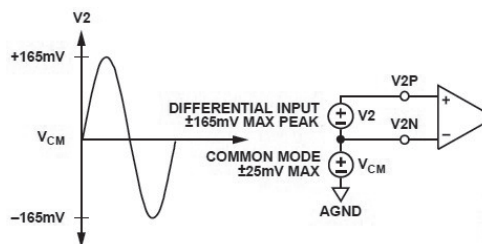


Figura 14. Requerimientos del canal de voltaje ADE7757 Fuente: tomada de Analog Devices (2003).

Anteriormente se encontró que a $V_n = 120$ V ac y que la señal en el canal V2 debe ser de 45.101mVrms; por ello debe atenuarse con un factor cerca de 2 660.69 veces.

Se diseña la siguiente red de resistencias para atenuar y calibrar el medidor con un rango de variación de resistencia de 400KW-599 KW, con lo que se obtiene una tensión de salida de 36mV-54mV con resolución de 9 bits, es decir, pasos de aproximadamente 35 uV (0.2 %). Véase figura 15.

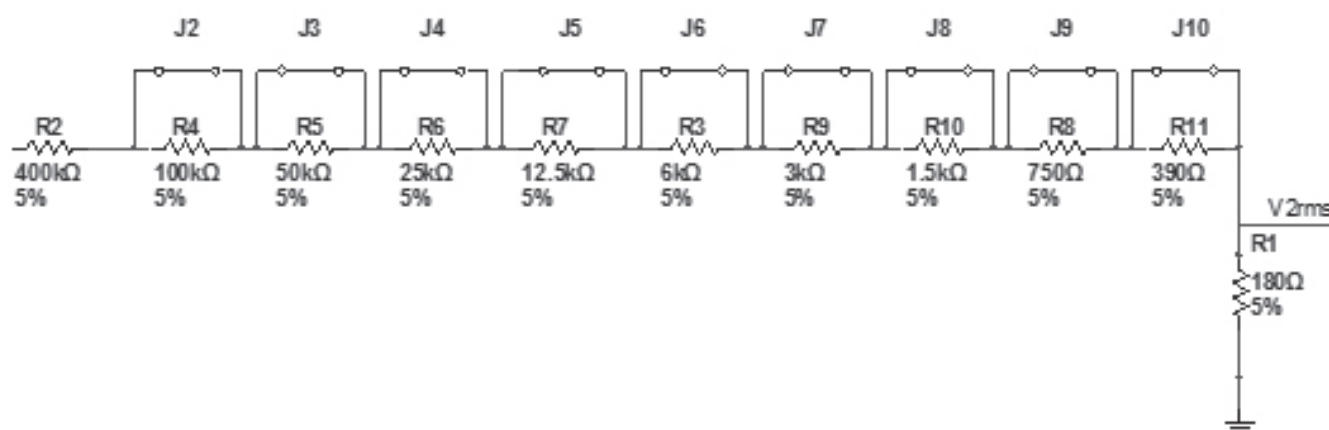


Figura 15. Red de calibración
Fuente: elaboración propia.

Para prevenir el aliasing en la conversión analógica digital de las señales en los canales de voltaje y corriente, es necesario el diseño e implementación de filtros antialiasing en ellos. El ADC del AD7757 realiza el muestreo a 450 KHz; la banda de interés se encuentra hasta los 2 KHz, por lo que se define la frecuencia de corte por encima del doble de la frecuencia de interés (4 KHz) para el diseño de los filtros.

Para el canal de corriente se diseñó el filtro RC pasa baja de primer orden (figura 16).

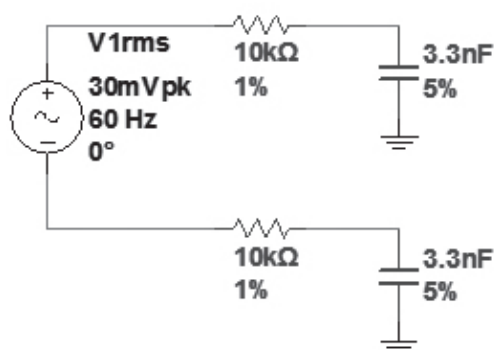


Figura 16. Filtro canal de corriente.
Fuente: elaboración propia.

La frecuencia de corte $F_c = \frac{1}{2\pi RC}$ calculada es de 4.8 KHz. Para el canal de voltaje se utilizó el filtro RC pasa baja de primer orden que aparece en la figura 17.

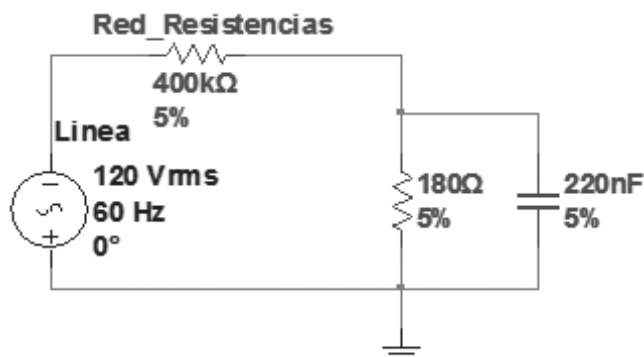


Figura 17. Filtro canal de voltaje
Fuente: elaboración propia.

La frecuencia de corte $F_c = \frac{1}{2\pi RC}$ calculada es de 4 KHz. Nótese que R (180 Ω) es mucho menor que la red de resistencias (alrededor de 400 KΩ) para evitar corrimiento en la frecuencia de corte al momento de ser calibrado el medidor.

Para calcular la corriente de arranque es necesario conocer la relación entre frecuencia de salida por potencia de entrada, que se calcula con la siguiente relación:

$$F1, F2 = \frac{100 \frac{imp}{KWh}}{3600 \frac{s}{h}} \cong 0.02777 \frac{Hz}{KW}$$

La mínima salida de frecuencia del ADE7757 es del 0.0014 % de F1...4. La mínima salida de frecuencia es:

$$0.0014 \%(1,72) \cong 0,00002408 \text{ Hz}$$

El equivalente en potencia es:

$$\frac{0,00002408 \text{ Hz}}{0.02777 \frac{\text{Hz}}{\text{KW}}} = 0,867W$$

La correspondiente corriente de arranque (con 120V en la línea) es:

$$\frac{0.867W}{120V} = 7.2 \text{ mA}$$

La normatividad (IEC 61036) especifica que la corriente de arranque no debe superar el 0.4 % de I_b con factor de potencia de 1. El medidor diseñado arrancaría a 0.3 % de I_b , cumpliendo así con la normatividad.

Conmutación eléctrica

Debido a que no es necesaria una interrupción rápida, y por todo lo anterior, se determina que el interruptor que mejor se ajusta a este proyecto es el relé biestable, y se selecciona el relé biestable PCB de potencia de Tyco Electronics, por su asequibilidad, tamaño, vida útil, precio no elevado, rango de corriente de conmutación: de 0 a 16A, especial para aplicaciones alimentadas por batería.

Por los requerimientos eléctricos de activación del relé biestable y el consumo de potencia, es necesaria la implementación de un circuito adicional entre la unidad de procesamiento y control. Este consiste, en su forma básica, de un bloque de conexión GND del circuito, un bloque de elevación de voltaje y uno de inversión de pulso y potencia.

Unidad de procesamiento y control

La tecnología XLP juega un papel importante en el desarrollo de este proyecto, por el carácter crítico de consumo de energía y por el uso de baterías para su alimentación. Como primera ventaja, el rango de voltaje VDD de 1.8 V - 3.3 V es ideal para alimentar con dos baterías. Otra gran ventaja es el bajo consumo de corriente de los módulos a implementar del 16LF1826, como son el WDT (watchdog timer), BOR, su bajo

consumo de corriente IDD en funcionamiento, así como en modo sleep, comparado con el 16F877A.

En la guía de selección de productos Microchip, se escogió el PIC16LF1826 de acuerdo con los requerimientos de la aplicación, por ejemplo: número de pines de propósito general, número y tipo de periféricos, rango de fuente de poder, memoria EE-PROM, memoria RAM, memoria de programa FLASH, velocidad de la CPU y módulos internos como el comparador, el regulador fijo de voltaje, el WDT (watch dog timer) y demás fuses.

El microcontrolador del PMP, al recibir la trama de datos, la clasifica como una recepción de paquete ZigBee y verifica en el payload si es un mensaje correspondiente a conmutación y si es de encendido o apagado o si se trata de una solicitud de potencia de su C2IP. Una vez determina esto, realiza una de las funciones explicadas a continuación según corresponda.

La conmutación del PMP está programada por el usuario en un horario específico que define la hora de encendido y de apagado. Cumplida esa hora, el C2IP enviará un paquete de solicitud de transmisión ZigBee con el mensaje de apagar o encender la carga según corresponda. El PMP recibirá ese mensaje cuando haya despertado del sueño, que vendría siendo un periodo máximo de 28 s, y en ese instante, por medio del circuito de conmutación, el controlador ejecuta el encendido o apagado de la carga.

Una vez hubo detectado el mensaje de conmutación, el PIC activa el circuito de interfaz con el relé, espera un corto tiempo a que se establezcan los circuitos integrados y luego le envía un pulso también de corta duración, necesario para activar el relé. Luego vuelve a desactivar este circuito y retorna a modo sleep.

Si el mensaje recibido fue de solicitud de potencia, el PIC procede a copiar el registro de la potencia acumulada, y lo ensambla la trama Zigbee Transmit Request, para ser enviada a su C2IP. Luego de transmitido el mensaje vuelve a modo sleep (figuras 18 a 22).

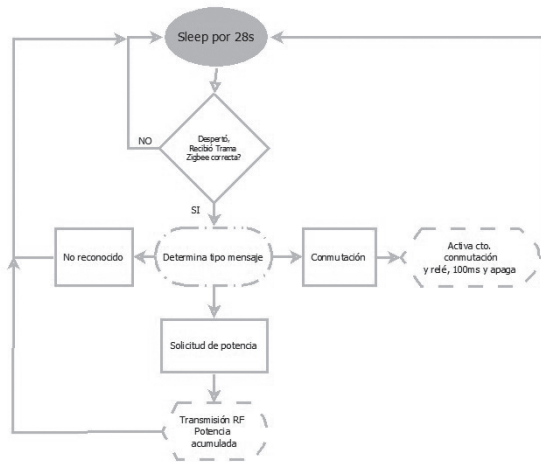


Figura 18. Diagrama de flujo de funciones PIC
Fuente: elaboración propia.



Figura 21. PMP vista frontal
Fuente: elaboración propia.

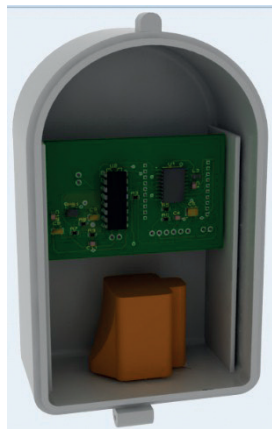


Figura 19. Tapa delantera
Fuente: elaboración propia.



Figura 22. PMP vista posterior
Fuente: elaboración propia.



Figura 20. Tapa trasera
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El artículo documenta el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo y control inalámbrico de potencia activa. Como parámetros de diseño se consideraron, desde el punto de vista funcional, características de uso racional de recursos energéticos y generación de soluciones sostenibles y, desde el punto de vista técnico, la interacción y comunicación con el sistema de medida existente desarrollado por Sypelc Ltda. para la Empresa Electrificadora del Meta S. A. E. S. P. El diseño incluye una unidad de control microcontrolada, un sistema de comunicación inalámbrica ZigBee y un integrado dedicado para valoración de energía eléctrica. De las pruebas iniciales de laboratorio se concluye que el prototipo

es capaz de reducir el consumo energético en los hogares suscritos a la Electrificadora del Meta.

Referencias

- Analog Devices Inc. (2003). ADE7757 Energy metering IC with integrated oscillator. C02898-0-10/03(A).
- Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial n.º 41148.
- Electrificadora del Meta S. A. E. S. P. (2013). Resolución 20133300045173, por medio de la cual se modifican los artículos segundo y octavo de la Resolución 20133300007373 a través de la cual se fijan los precios por venta de servicios, materiales y cargos asociados con la conexión del servicio público domiciliario de electricidad.
- Ministerio de Minas y Energía y UPME (2007). Balances energéticos 1975-2006. ISBN 978-958-98138-3-6.
- Ministerio de Minas y Energía y UPME (2010). Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2010-2014. ISBN 978-958-8363-09-7.