

# Medidor de energía inteligente gestionado con puente IoT

---

Intelligent energy meter managed with an IoT bridge

Recibido: : 2 de octubre 2014, aceptado: 15 de diciembre 2014

Carlos G. Bran y Carlos González\*

## Resumen

A nivel mundial y nacional el consumo de energía tiende a convertirse en un bien poco gestionado por usuarios residenciales y empresariales, donde rara vez se vuelve evidente el desperdicio de energía, ya que los mecanismos de medición solo están disponibles para el distribuidor y no para el usuario. El avance de la micro y nano electrónica ha permitido desarrollar mejores y más pequeños sensores los que permiten monitorear de forma más granular variables y por lo tanto tener una mejor gestión de los impactos que aportan sobre un fenómeno mayor; por otro lado la miniaturización de los sistemas embebidos permite contar con una mayor potencia de cálculo en espacios más diminutos con pilas completas del protocolo TCP/IP integradas en dichos chips, lo que hace más simple agregar computadoras de propósito específico directamente a sensores y actuadores, logrando que estos puedan comunicarse entre sí y con los usuarios de forma inalámbrica y con un consumo pasivo de energía mínimo. Con el proyecto se desarrolla una propuesta de bajo costo que permita al usuario una más fácil gestión del recurso energético, integrando a la solución una interfaz de Internet de las Cosas (IoT) que permita gestionar el consumo, además de proponer alternativas para gobernar los actuadores de las cargas activas usando transceptores inalámbricos.

**Palabras Clave:** Transformadores de corriente, Puente IoT, transceptores inalámbricos, microcontroladores, potencia instantánea, medidor de energía.

## Abstract

At the world and national level, energy consumption tends to become a little managed good by residential and industrial users, where the waste of energy is rarely evident since the measuring mechanisms are only available for the distributor and not for the user. The advances in micro and nanoelectronics have allowed the development of better and smaller sensors that allow the monitoring of variables in a more granular way and, therefore, have a better management of the impact they have on a larger phenomenon. On the other hand, the miniaturization of embedded

---

\* Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica, Universidad Don Bosco. E-mail: cbran@udb.edu.sv, carlos.gonzalez@udb.edu.sv

systems allows us to count with greater calculation power in more reduced spaces with complete piles of TCP/IP protocols integrated to such chips, which makes it easier to add computers with a specific purpose directly to sensors and actuators, making it possible for them to communicate wireless among themselves and the users with a passive minimum energy consumption. In this project we developed a low budget proposal that allows the user an easier way to manage the energy resource, integrating to the solution an interface of the Internet of Things (IoT) that, besides managing consumption, proposes alternatives to govern the actuators of the active charges using wireless transceivers.

**Keywords:** Current transformers, IoT Bridge, wireless transceivers, microcontrollers, instant power, electric meter.

## Introducción

La revisión de cualquier informe nacional o internacional demuestra que la demanda de la energía crecerá exponencialmente en los próximos años, lo que llevara a un mayor impacto ambiental para producirla además de mayores costos, por lo que una gestión inteligente de este recurso implicará una gestión más directa del usuario sobre el mismo a través de un mejor conocimiento y mejores herramientas para administrar el consumo energético.

Muchos de los desperdicios que se tienen de la energía son debidos a las malas prácticas de los usuario por desconocimiento de las demanda reales de energía de los aparatos usados y de su eficiencia, además del desconocimiento de las demandas pasivas de muchos dispositivos que a pesar de no estar operando tienen un consumo constante que impacta en la facturación final. Las relaciones de electricidad básica permiten calcular la potencia a través del producto de la caída de tensión en una carga por la corriente que circula por la misma, por otro lado la energía consumida es la sumatoria infinitesimal de la potencia por unidad de tiempo, típicamente registrada en unidades de Kilovatios-hora.

En el mercado existen muchos medidores de energía con excelentes prestaciones y para distintos rangos de aplicaciones. El problema con estos medidores es la poca disponibilidad de capacidades de gestión para el usuario final, ya que las capacidades de comunicación de estos medidores solo están disponibles para el proveedor, además de no contar con mecanismos que permitan gobernar actuadores para los circuitos que controlan las cargas. Por último, los precios de estos medidores son bastante caros, incluso las soluciones abiertas como Flukso (<https://www.flukso.net/>) tienen precios relativamente altos.

Cualquier solución de medición que permita hacer más eficiente el consumo de energía tanto a nivel residencial como industrial debe implicar un sólido y potente sistema de gestión que no solo permita medir el consumo de energía, sino que brinde la capacidad de poder actuar sobre los circuitos que alimentan las cargas, de tal manera que facilite el control directo del usuario sobre las mismas o bien el uso de herramientas inteligentes que permitan gobernar las cargas de forma automática.

En este proyecto se propone una solución para un medidor de bajo costo con capacidades de gestión usando un puente IoT para la comunicación con el usuario vía TCP/IP, además del uso de transceptores inalámbricos para el control activo de las cargas.

El trabajo se divide en 4 partes. Primero, se hace una propuesta para la medición de la energía a través de un chip monolítico de alta precisión y un microcontrolador de 8 bits; luego, se desarrolla la propuesta del puente de IoT (Internet de las cosas) que permite montar una pila TCP/IP que facilite la interacción con el usuario final tanto para el monitoreo como para el control de los actuadores; posteriormente, se propone la alternativa para el control de los circuitos de las cargas usando transceptores inalámbricos, los cuales pueden ser gobernados por un bus de comunicación que además haga interfaz con el puente IoT; por último, se evalúa el medidor para su calibración con equipos que cuentan con trazabilidad internacional, para luego presentar los resultados finales de la propuesta.

### **Medición de la potencia y energía**

La forma más simple de resolver el problema de la medición de la energía es usando un chip de señal mixta que permita muestrear las variables analógicas de voltaje y corriente para dimensionar la potencia en una salida de pulso digitales los cuales pueden ser procesados por un microcontrolador.

Para seleccionar el chip se evaluaron los mecanismos de medición que usan los medidores de energía digitales típicos, donde con mucha frecuencia se usa para la etapa de medición chips del fabricante Analog Devices, por lo que se eligió del catálogo de chips de dicho fabricante uno con buenas características de rendimiento y costos, decantándose por el chip ADE7755.

#### *Funcionamiento del ADE7755*

El ADE7755 es un medidor de energía eléctrica de alta precisión que supera los requisitos de la norma IEC 1036, brinda información de la potencia activa promedio en líneas digitales de baja frecuencia en forma de pulso los cuales pueden contabilizarse para el registro de la potencia; además, el chip cuenta con otras características, tales como controladores de ganancia, filtros pasa alto para la eliminación de ruido, detectores de nivel de voltaje y otras particularidades que permiten conectarlo en múltiples arreglos.

El funcionamiento del chip se basa en la digitalización de dos señales analógicas haciendo uso de un ADC (Analog-to-Digital Converter) de 16 bits con una frecuencia de muestreo de 900Khz. Este tipo de entradas, sumada con la capacidad de programar la ganancia, simplifica el acoplamiento de las interfaces para la medición de las señales de voltaje y corriente.

El cálculo de la potencia activa se extrae de la potencia instantánea calculada por el producto de las señales de voltaje y corriente digitalizadas las cuales se acumulan para brindar una salida de frecuencia digital que es proporcional al promedio de la potencia activa. La figura 1 muestra el diagrama de bloques del procesamiento de la señal.

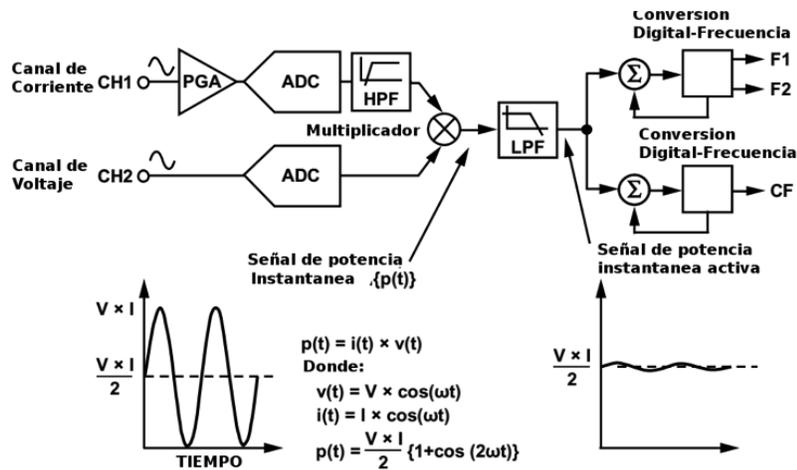


Figura 1: Diagrama de bloques del procesamiento de la señal en el ADE7755

Las entradas analógicas al chip ADE7755 son diferenciales con un valor de más o menos 470mVpp para el canal de corriente y 600mVpp para el canal de voltaje. El canal de corriente cuenta con un selector de ganancia programable de dos bit que permite ajustar el acondicionamiento de la señal de entrada con valores de ganancia de 1, 2, 8 y 16. Ambos canales cuentan con protección a descargas electro-estáticas.

En virtud de que los niveles de voltaje que soporta el chip son bajos es necesario acondicionar y aislar galvánicamente ambas entradas usando transformadores de corriente y voltaje respectivamente. Los circuitos de la figura 2 muestran los circuitos propuestos para la conexión de las entradas analógicas.

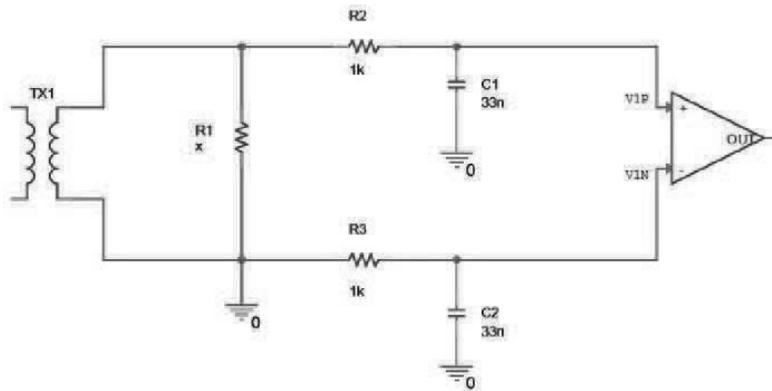


Figura 2: (a) Conexión para el canal de corriente, (b) Conexión para el canal de voltaje

Los valores de las resistencias X para el canal de corriente y X, Y para el canal de voltaje deben calcularse de acuerdo a los rangos de potencia que se desean medir.

Con las entradas digitales se pueden ajustar ciertas características del chip. Las entradas G1; G0 se utilizan para seleccionar la ganancia del canal de corriente, lo que permite el acople de diversos rangos de transductores.

Las entradas S1; S0 son usadas para seleccionar la frecuencia de salida para el convertidor digital-frecuencia, la hoja técnica establece los rangos de frecuencia de acuerdo a los valores establecidos en estas líneas.

La entrada SCF se utiliza para seleccionar la frecuencia en la salida de calibración (CF) que es la salida utilizada debido su corto tiempo de integración y alta velocidad de respuesta, por último la entrada AC/DC es empleada para gestionar los filtros pasa alto usados por el canal de corriente y la línea de RESET que permite reinicializar de forma complete el chip.

Las salidas digitales brindan información sobre la potencia activa instantánea. Con la salida REVP se puede detectar cuando el desplazamiento de fase entre el voltaje y corriente supera los 90 grados; las salidas F1, F2 y CF nos proporcionan los valores de potencia promedio medida, las líneas F1, F2 son de baja frecuencia e ideales para acoplar controladores electromecánicos, la línea CF trabaja a alta frecuencia por lo que pueden brindar una mejor precisión y sensibilidad en las mediciones y es la que se usa para controladores electrónicos.

#### *Transformadores de acondicionamiento*

En vista de que el medidor se implementara para los servicios de energía residenciales, es necesario un adecuado acondicionamiento de las líneas de medición ya que estarán en contacto con magnitudes eléctricas peligrosas.

Los valores máximos de las magnitudes a medir de entrada: voltaje 120V y corriente 30A y los voltajes diferenciales máximos soportados por las líneas analógicas del chip determinan la relación de transformación de los transformadores de voltaje y corriente a usar. Haciendo la relación, se observa que los valores mínimos para la relación de transformación son de 200 para el canal de voltaje y 64 para el canal de corriente. Es evidente que la medición de corriente es la que resulta más complicada debido a que el medidor debe ubicarse en serie con el circuito a medir, por lo que el uso de un transformador de núcleo partido constituye la elección más conveniente para este propósito ya que evita el contacto directo con los cables.

El transformador de corrientes seleccionado es el modelo ECS1030-L72 con una relación de transformación de 2000 y corriente nominal de 30A, el cual brinda muy buenas características de linealidad y a un costo inferior a US\$10.0. Para el caso del transformador de voltaje se usó uno genérico, con una relación de transformación superior a la estimada, ya que este voltaje tendrá un valor relativamente fijo sin experimentar variaciones considerables

#### *Cálculos de implementación*

Para el desarrollo del prototipo se consideró un servicio eléctrico residencial básico con un voltaje nominal de 120V y una corriente no superior a los 30<sup>a</sup>. Con estas especificaciones se hacen los

cálculos de las resistencias de derivación R1 y R2 de los circuitos de acople de las dos señales al chip de medición mostradas en la figura 2, cuya hoja técnica brinda la relación entre la frecuencia de salida y los voltajes de entrada (1).

$$F_{req} = \frac{8.6 \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot Gain \cdot f_i}{V_{ref}^2} \quad (1)$$

Donde:

Freq = La frecuencia de salida en F1, F2 o CF.

V1,V2 = Voltajes diferenciales de los canales de entrada.

Gain = La ganancia del controlador del canal de corriente. (Líneas G0,G1: 1,2,8 o 16)

Vref = Voltaje de referencia para los ADC 2.5V con una tolerancia del 8%

fi = Ajuste de la frecuencia de salida (Líneas S0,S1: 1.7, 3.4, 6.8 o 13.6 hz)

El ajuste de las resistencia R1 y R2 se hace de tal manera de poder tener proporcionalidad entre la salida de frecuencia esperada y la potencia instantánea medida, así para una potencia de entrada de 1.2Kw se desea tener una frecuencia de 1.2Khz, con estos dos parámetros de entrada-salida y usando la máxima frecuencia de salida disponible (SCF = 0; S1 = S2 = 1 y fi = 13.6x2048), podemos despejar de (1) el valor del producto V1.V2.

$$V_1 \cdot V_2 = \frac{1200 \cdot V_{ref}^2}{8.6 \cdot 2048 \cdot Gain \cdot 13.6 \cdot 2048} \quad (2)$$

Para el canal de corriente se observa que la magnitud de entrada a este canal solo depende de la caída de tensión que hay en R1, como lo muestra (3), por otro lado para el canal de voltaje la magnitud de entrada dependerá del divisor de tensión formado por R1 y R2 como muestra (4).

(3)

$$V_1 = I_{red} \cdot a \cdot R_1$$

$$V_2 = \frac{V_{red} \cdot a}{R_1 + R_2} R_2$$

(4)

Considerando la relación de transformación de los transformadores de corriente y de voltaje y las ecuaciones (2), (3) y (4), se puede obtener los valores de las resistencias necesarias para poder tener una relación proporcional entre los valores de la entrada y la salida del chip.

Ahora solo es necesario un medidor de la frecuencia más un mecanismo de despliegue local, para ello se hace uso de un microcontrolador PIC18F4550 con el cual se implementa un contador de pulso de flanco ascendente en una ventana de tiempo de 1 segundo y como se garantizó con los cálculos anteriores la proporcionalidad de la potencia-frecuencia el resultado del contador será la potencia instantánea medida, para la base de tiempo de 1 segundo se hace uso de un temporizador y para el contador se usa el sistema de captura en flanco ascendente ambos embebidos en el microcontrolador, la figura 3 muestra de forma parcial el código de las dos funciones anteriores que son la base de la operación del controlador.

```

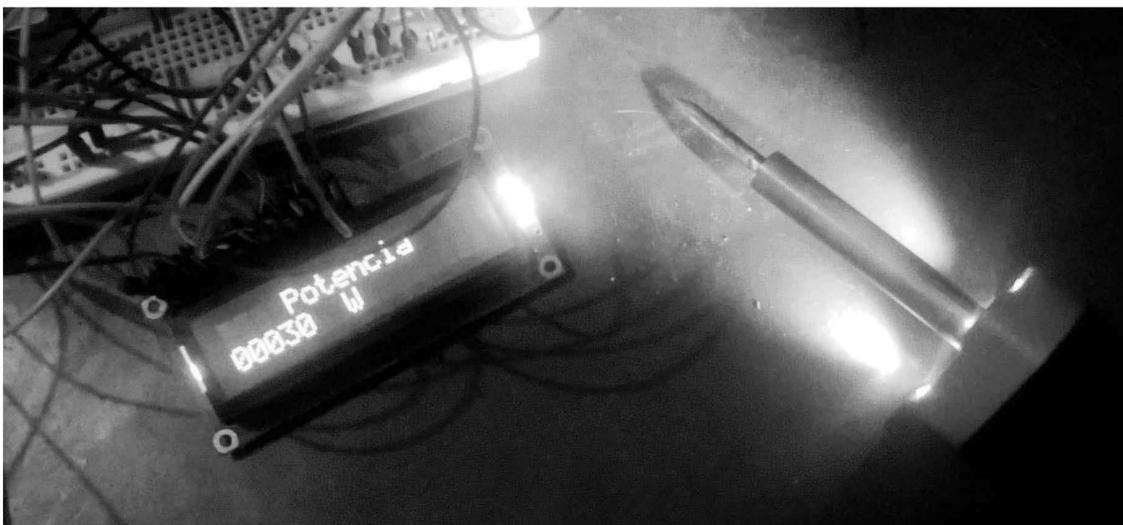
void medicion(){
    estado = 0;
    CCP1IF = 0;
    TMR2ON = 1;
    while(estado == 0){
        if(CCP1IF == 1){
            lectura++;
            CCP1IF = 0;
        }
    }
    return;
}
void interrupt tiempo(){
    static unsigned int temporizador;
    GIE = 0;
    if(TMR2IF==1){
        temporizador++;
        if(temporizador >= 1000){
            temporizador = 0;
            estado = 1;
            TMR2ON = 0;
            LATA0 ^=1;
        }
        TMR2 = 0;
        TMR2IF = 0;
    }
    GIE = 1;
    return;
}

```

**Figura 3:** Funciones de captura de flancos y temporizador de 1 segundo

Para el cálculo de energía se usa una función acumulativa que registre cada valor de potencia instantánea medida en cada segundo, ya que la forma nominal como se presenta la magnitud de energía es en Kwh, el valor acumulado se divide entre 3600.

Si bien el objetivo de la propuesta es que las magnitudes de la medición estén disponible para el usuario de forma remota usando el puente IoT, para poder calibrar la solución se implementó un mecanismo de despliegue usando un LCD de 2x16, el cual puede estar disponible como una forma de visualización local de la solución. La figura 4 muestra la implementación a nivel de prototipo del medidor.



**Figura 4:** Prototipo del medidor de potencia, midiendo el consumo de un soldador

### **La comunicación con el usuario a través del puente IoT**

La capacidad de gestión de un medidor está vinculada con la disponibilidad que brinde al usuario para poder acceder a la información que el medidor brinda, muchos de los medidores comerciales ofrecen distintas capacidades de comunicación como transceptores infrarrojos, RS485, PLC, GPRS, entre otros, sin embargo la información que brindan por estas interfaces, solo está disponible para el proveedor para fines de facturación, por lo que el usuario final no puede valerse de dicha información para gestionar su consumo.

La cobertura cada vez más creciente de los servicios de Internet hace que este sea el mejor mecanismo para poner a la disposición del usuario la información del medidor, para ello es necesario un puente que permita interactuar al usuario con el medidor y los actuadores, dicha interfaz puede ser construido con cualquier dispositivo con soporte para IoT (Internet of Thing)

Existen diversos tipos de dispositivos IoT, con los que puede desarrollarse el puente, ya que nuestra solución es un prototipo se usó una tarjeta Arduino Yun para brindar estas prestaciones al medidor. Arduino Yun es una tarjeta basada en los microcontroladores ATmega32u4 y Atheros AR9331, este último ejecuta una versión compacta de Linux basada en OpenWrt que es el que brinda las capacidades TCP/IP a la tarjeta que tiene empotrado los chip para el soporte de Ethernet y Wifi, dejando libre el otro microcontrolador para la interacción con puertos I/O digitales y analógicos, como muestra la figura 5.

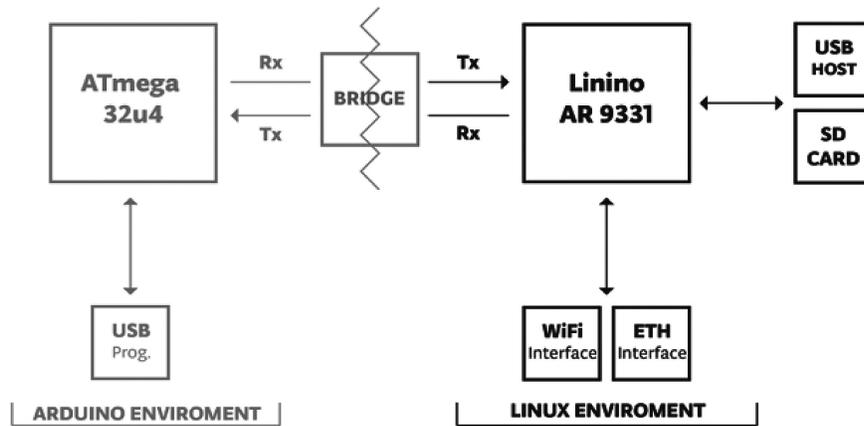


Figura 5: Esquema en bloques de Arduino Yun

Arduino Yun brinda un conjunto de librerías para la comunicación, por lo que resulta la opción más rápida para el desarrollo del prototipo.

Para la implementación del puente de comunicación IoT se basó en una capa de arquitectura REST (Representational state transfer), para implementar conectores cliente-servidor que permitan el despliegue de servicios web basados en comandos de texto, con ello se facilita la implementación de interfaces gráficas más potentes que no tengan que residir sobre el procesador de la tarjeta y estos solo interactúen por los comandos de texto.

Para el desarrollo del puente se usaron las librerías disponibles para la tarjeta Yun, con lo que se establecen sesiones cliente-servidor, que hacen uso del puerto lógico 5555 para redirigir la peticiones HTTP que contienen los comando que se extraen mediante una función de parser, los cuales permiten discriminar las ordenes enviadas desde la interfaz del usuario; la figura 6 muestra el código de la implementación del puente, en la placa Yun, la cual implementa dos comandos uno para monitoreo (variables de consumo de energía acumulado y potencia instantánea) y el otro para el manejo de los actuadores.

Para el control de los actuadores se usaron puertos digitales de salida para las condiciones de apagado y encendido los cuales permiten verificar el estado de los circuitos que alimentan las cargas, así junto con el comando enviado desde la interfaz de usuario se puede seleccionar el número de circuito y el estado deseado del mismo, con lo que se puede tener una acción directa sobre las cargas que pudieran estar disparando el consumo de energía registrado por el medidor.

```

void loop() {
// Obtener clientes que acceden al servidor
  YunClient client = server.accept();
// Hay un nuevo cliente?
  if (client) {
    // Solicitud de proceso
    client.print(" CONTROLADORES DE CIRCUITOS: Ckto 2 al 12 \n");
    client.print(" COMANDOS DISPONIBLES \n");
    client.print(" /arduino/circuito/(#Ckto)/(Estado) : Activar/Desactivar circuito \n");
    client.print(" /arduino/lectura/P : Lectura de potencia instantanea \n");
    client.print(" /arduino/lectura/E : Lectura de energia consumida \n");
    client.print(" /arduino/lectura/C : Estado de todos los circuitos \n");
    client.print("\n");
    client.print("\n");
    sentencia(client);
// Cierre la conexion y libere los recursos
    client.stop();
  }
  delay(50); // Repitalo cada 50ms
}
// Funcion de procesamiento de los comando
void sentencia(YunClient client) {
  // Leer el comando
  String comando = client.readStringUntil('/');
  // es un comando de actuadores de circuitos?
  if (comando == "circuito") {
    circuitoCommand(client);
  }
  // es un comando lectura?
  if (comando == "lectura") {
    lecturaCommand(client);
  }
}
}

```

**Figura 6:** código de implementación del puente IoT en placa Yun

Para el proceso de comunicación del microcontrolador del medidor, el de los actuadores y el puente IoT se hace uso de una interfaz serial periférica SPI ya que el volumen de los datos que se comunican es pequeño, donde el puente IoT funciona como maestro y los microcontroladores del medidor y de los actuadores funcionan como esclavos, la función de comunicación la disparan los comandos recibidos por la interfaz de usuario por lo que el registro de la energía consumida está contenida en el microcontrolador responsable de la medición, la cual se estará registrando en la memoria no volátil interna EEPROM.

Las variables de potencia instantánea y energía son de tipo flotante de 32 bits por lo que hacen uso de 4 byte de memoria y como la interfaz de comunicación solo puede enviar 8 bits por cada ráfaga de comunicación fue necesario usar un punteros en el microcontrolador y una función de concatenación en la tarjeta Yun para resolver el problema de compatibilidad de las variables en los dos pares, la figura 7 muestra la rutina de comunicación en el microcontrolador y la figura 8 la rutina de la tarjeta Yun utilizadas.

```

//Rutina de comunicacion SPI
void comuni_spi_IoT (float dato){
    unsigned char *puntero1; //Variable puntero
    unsigned char dat_spi; //Variable temporal para captu
    unsigned char cont=0; //Contador
    puntero1 = &dato;
    while (cont<5){
        dat_spi = SSPBUF; //Lectura Tonta SPI no relevan
        dat_spi = *puntero1++;
        SSPBUF = dat_spi; //Escribir en el SPI
        while (BF==0){} //Esperar por reloj de maestro
        cont = cont + 1; //Incrementar el contador
    }
    return;
}

```

**Figura 7:** código de rutina de comunicación SPI implementada en el medidor.

```

void SpiMedidor() {
    union concatena //Funcion para concatenar los valores del SPI
    {
        unsigned char dato [4]; // Vector de 4bytes P/valor flotante
        float f_reci;
    }concatena;
    unsigned char d_rx [8];
    for (int i=0; i<4; i++){
        d_rx[i] = SPI.transfer(0x55); //recibe el dato de potencia
        delay (10);
        concatena.dato[i] = d_rx[0];
    }
    potencia = concatena.f_reci; //convierte el valor a flotante

    for (int i=4; i<8; i++){
        d_rx[i] = SPI.transfer(0xAA); //recibe el dato de energia
        delay (10);
        concatena.dato[i] = d_rx[0];
    }
    energia = concatena.f_reci; //convierte el valor a flotante
}

```

**Figura 8:** código de rutina de comunicación SPI implementada en la tarjeta Yun

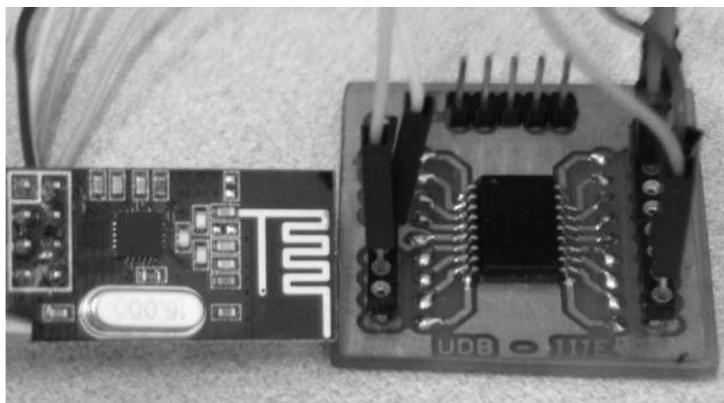
## El control de los circuitos de las cargas

El control de las cargas de los circuitos en una instalación eléctrica típica se simplifica a un control ON/OFF, si bien es posible hacer redes de sensores de corriente para poder monitorear el consumo por carga esto se vuelve poco justificable para instalaciones de pequeño y mediano tamaño.

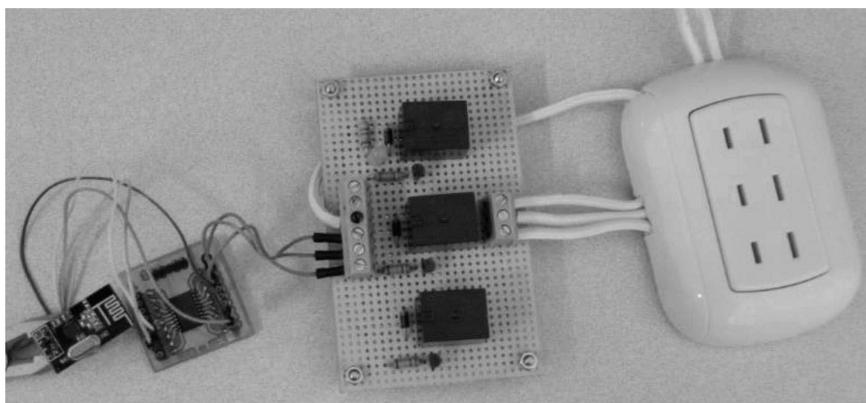
La selección de la localización de los controladores de actuadores se reduce a dos lugares básicos: el tablero donde se alimentan los circuitos o bien cerca de la localización de la carga, al colocar el controlador en los tableros se interrumpe de manera completa el circuito gobernando todas las cargas que este alimenta lo cual podría ser un inconveniente, al colocarlos cerca de las cargas el control es más granular pero con la dificultad de tener que ser distribuidos en toda el área de cobertura de la red eléctrica, lo que implica que la selección del proceso de comunicación sea de forma inalámbrica, con un estándar de comunicación que pueda tolerar los obstáculos y una cobertura intermedia.

Para la comunicación con los controladores de las cargas se usó un chip transceptor nRF24L01 + de Nordic Semiconductor que permite extender el sistema de comunicación periférico (SPI) sobre una banda de 2.4 Ghz con modulación GFSK, canales completamente configurables, bajo consumo de potencia, un radio de alcance de 100 mts y velocidades de hasta 2Mbps; dicha interfaz se conecta con un microcontrolador de bajo rango 16F88 aislado galvánicamente para manejar las cargas por medio de relevadores o interruptores de estado sólido, con el microcontrolador 16F88 se pueden manejar hasta 12 cargas, sin embargo para fines de prototipo se probó el controlador solo con 3 cargas de control.

El funcionamiento de estos controladores es bastante simple, cada vez que el puente IoT recibe un comando REST que implica la activación o desactivación de un circuito, se envía una palabra clave de 8 bits vía SPI, seleccionando el controlador que se quiere manipular usando el transceptor nRF24L01 +, la cual se recibe en el microcontrolador 16F88 que activa/desactiva los puertos donde están conectadas las cargas; el prototipo se probó con alcances de hasta 18 mts separados por paredes de concreto y funciona sin mayores inconvenientes, la figura 9(a)/(b) muestra el prototipo del controlador de las cargas implementado.



**Figura 9(a):** Transceptor / Microcontrolador 16F88



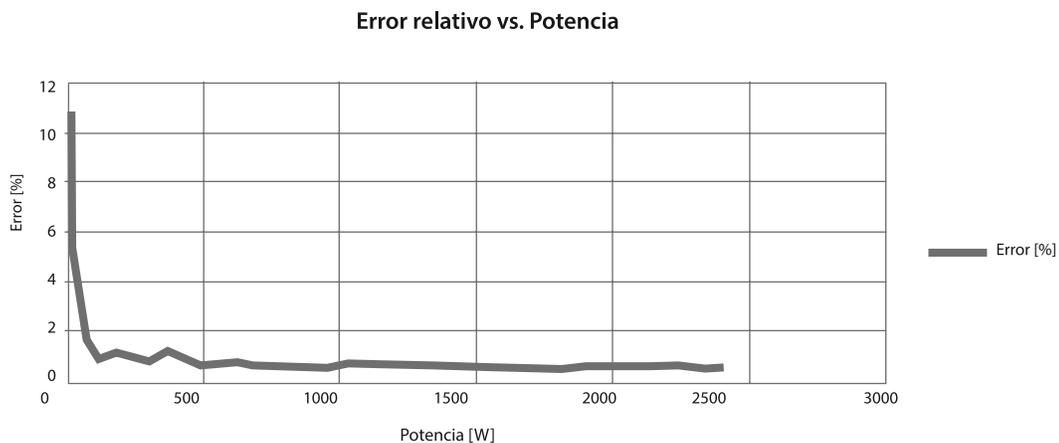
**Figura 9 (b):** Prototipo con relevadores

## Resultados

El proceso de evaluación de la solución se basó principalmente en la obtención del error relativo del prototipo implementado, así como la evaluación del alcance de las comunicaciones del puente IoT y los controladores de las cargas, además de pruebas de conectividad del usuario desde redes IP públicas.

Para la obtención del error relativo se usó el calibrador multi-producto de alto desempeño Fluke 5520A con el número de certificación 627015-7580013:1354215406 otorgado el 29 de noviembre del 2012, el cual permite establecer de forma precisa las demandas de voltaje y corriente, con una resolución de voltaje de 20mV y de corriente de 100uA.

El banco de pruebas se ajustó para un voltaje de alimentación fijo de 120 Vrms y se efectuaron variaciones de la corriente para el establecimiento de las demandas de potencia desde los 7.2W a los 2400W, para los que se calculó el error relativo con el que se obtuvo la gráfica mostrada en la figura 10.



**Figura 10:** Gráfica de error relativo.

La tendencia de la gráfica muestra que a medida que se alcanzan las corrientes de operación nominales del transformador de corriente el error en las mediciones se estabiliza a un valor típico de 0.534% el cual es mucho menor que el de los medidores de potencia comerciales.

En las pruebas de comunicaciones se presentaban algunos errores en el envío de datos típicos de los sistemas SPI, los que afectaban eventualmente la comunicación entre el puente IoT con el microcontrolador del medidor y los de los controladores de los circuitos, estos últimos menos críticos ya que no se requiere precisión en los datos para las funciones de control.

Por último las pruebas con la interfaz de usuario funcionaron sin problemas, la respuesta a los comandos enviados por el usuario era menor de 2 segundos en redes relativamente congestionadas

tanto para entornos públicos como privados, se hicieron pruebas desde dominios de distintos proveedores obteniéndose los mismos resultados lo que garantiza la plena funcionalidad de la interacción con el usuario.

## Conclusiones

El prototipo del medidor implementado presenta una gran confiabilidad en las lecturas de potencia instantánea y energía, con errores relativos comparables con los medidores comerciales y a un bajo costo, siempre que la potencia de la carga que se mida sea superior a los 10 W; a valores inferiores a esta potencia el error se incrementa sin embargo la demanda de energía en instalaciones residenciales y comerciales rara vez es inferior a dicho valor.

Las capacidades de gestión que brinda el puente IoT facilitan una mejor administración del consumo energético, a los usuarios y abre la posibilidad para integrar otras capacidades y servicios para los usuarios.

La facilidad y transparencia de las peticiones cliente-servidor que brinda REST, posibilita con poco desarrollo integrarse a otras aplicaciones de gestión en entornos gráficos y con motores más inteligentes que pueden definir estrategias de gestión más automáticas.

Las interfaces de comunicación seriales como SPI, generan con alguna frecuencia errores en la transferencia de los datos, por lo que resulta necesario para futuras mejoras agregar mecanismos para garantizar la detección y recuperación de errores, o bien usar un protocolo de serialización más confiable.

Cambiando el modelo del chip de medición se podrían medir otras variables como potencia reactiva, potencia compleja, potencia real, factor de potencia; con lo que se mejorarían las capacidades del prototipo para futuros desarrollos.

Usando un microcontrolador más potente es posible integrar la parte de la medición con el puente IoT, lo que podría abaratar aún más la solución, además de compactarla y agregar mejores prestaciones.

## Referencias

- K. S. K Weranga, Sisil Kumarawadu, D. P. Chandima (2013). *Smart Metering Design and Applications (SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology)*; Springer Press, ISBN-13: 978-9814451819.
- Fabio Toledo (2013). *Smart Metering Handbook*; Pennell Books, ISBN-13: 978-1593702984.
- Cuno Pfister (2011). *Getting Started with the Internet of Things: Connecting Sensors and Microcontrollers to the Cloud*; Maker Media, Inc, ISBN-13: 978-1449393571.
- Marco Schwartz (2014). *Internet of Things with the Arduino Yún*; Packt Publishing, ISBN-13: 978-1783288007.

- Francis da Costa (2013). *Rethinking the Internet of Things: A Scalable Approach to Connecting Everything*; Apress, ISBN: 1430257407.
- Reza Shahrara (2011). *Design and Implementation of a Microcontroller Based Wireless Energy Meter*; IEEE Trans. Electron Devices 1997 vol. 44 no. 10 1689-1698.
- Mejbaul Haque<sup>1</sup>, Md. Kamal Hossain<sup>2</sup>, Md. Mortuza Ali<sup>3</sup>, Md. Rafiqul Islam Sheikh<sup>3</sup> (2011). Microcontroller Based Single Phase Digital Prepaid Energy Meter for Improved Metering and Billing System; *International Journal of Power Electronics and Drive System*, Vol.1, No.2, December 2011, pp. 139~147.
- Shahidi, S., Gaffar, A.; Salim, K.M. (2013). Design and implementation of digital energy meter with data sending capability using GSM network; I Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 2013 *International Conference on, IEEE 2013* pag. 203-206.
- Laitkorpi, M., Koskinen, J., Systs, T. (2006). A UML-based Approach for Abstracting Application Interfaces to REST-like Services; *Reverse Engineering, 2006. WCRE '06. 13th Working Conference on. IEEE 2006* pag. 134 – 146
- Loss, P.A.V., Lamego, M.M., Sousa, G.C.D., Vieira, J.L.F. (1998). A single phase microcontroller based energy meter; *IMTC/98. Conference Proceedings. IEEE 1998* vol. 2 no. 797-800.
- Analog Device, inc Energy Metering IC with Pulse Output, ADE7755, U.S.A
- EChun Electronic Co., Ltd Split Core Current Transformer ECS1030-L72, Changping Town, Dongguan City, Guang Dong, China.