

# MEDIDOR INTELIGENTE DE ENERGIA ELECTRICA (Smart Meter)

Cuevas Muñoz Paulina Lizeth (1), Lozano García José Merced (2)

1 [Licenciatura En Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica, División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca] | [paulina.1815@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Eléctrica, División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca] | [jm.lozano@ugto.mx]

## Resumen

El presente trabajo se enfoca en la implementación de un sistema de medición y monitoreo remoto de energía eléctrica. El sistema de medición inteligente (Smart Meter) tiene como finalidad el determinar el consumo energético en un sistema de nivel residencial, además del costo asociado, para su utilización en aplicaciones de control de demanda energética. El Smart Meter se basa en la operación de un subsistema de adquisición de señales, el cual se incorpora en una carga de tipo residencial para medir señales de voltaje y corriente. La información obtenida es enviada a una tarjeta de procesamiento (Arduino® UNO) para determinar los valores de potencia activa, reactiva, factor de potencia, energía consumida y el importe por consumo. Los parámetros eléctricos calculados son almacenados, y enviados de forma inalámbrica a un teléfono celular, mediante un módulo bluetooth. Finalmente, en el teléfono celular se desarrolla una aplicación basada en el sistema operativo Android® para el monitoreo de la información, la cual se espera pueda servir para que los usuarios dispongan de información precisa, cómoda y en tiempo real, acerca de su consumo energético. De esta manera, se podrán tomar las acciones pertinentes, a fin de reducir el consumo excesivo de energía.

## Abstract

This paper is focused on the implementation of an electrical energy remote measurement and monitoring system. The Smart Meter system is intended to determine the energy consumption in a residential electrical system, in addition to the associated cost, for use in energy demand control applications. The Smart Meter is based in the operation of a signal acquisition system, which is incorporated in a residential load in order to measure the voltage and current signals. Information obtained is sent to a processing board (Arduino® UNO) to compute active and reactive power, power factor, energy consumption and the associated cost. The calculated electrical parameters are stored and sent via wireless to a cell phone, through a Bluetooth communication module. Finally, an application based on Android® OS is developed in the cell phone to monitor the energy consumption in real time, and in an accurate and comfortable way.

## Palabras Clave

Medidor inteligente de energía; Procesamiento de Señales; Comunicación inalámbrica; Control de demanda energética

## INTRODUCCIÓN

Los procesos productivos en las industrias y los quehaceres domésticos en los hogares de un país requieren de manera imperativa de diversas fuentes de energía, dentro de las cuales se destaca la eléctrica, siendo cada vez más importante su uso racional debido a la necesidad de optimizar los recursos naturales disponibles. En vista de lo anterior, es necesario que el consumidor final se transforme en un agente activo capaz de tomar decisiones que le permitan racionalizar de forma consciente su consumo de energía eléctrica. Si los consumidores pudieran monitorear la cantidad de energía que utilizan, para qué la utilizan y cuánto les cuesta, entonces podrían tomar decisiones sustentadas en bases sólidas que hagan posible optimizar el consumo y minimizar los recursos económicos destinados para este fin [1].

Esta iniciativa ha permitido el aumento en el desarrollo de sistemas de medición de consumo de energía eléctrica basados en micro-controladores y que hacen uso de la tecnología AMR (Automatic Meter Reading), la cual hace posible la conexión inalámbrica de múltiples sensores destinados a monitorear el consumo de energía, pero con el objetivo fundamental de brindarle información del consumo a la empresa prestadora del servicio, mas no al usuario final. Por su parte, en [2] se hace una revisión del estado del arte acerca los sistemas electrónicos de medición del consumo de energía eléctrica en el sector industrial existentes en la actualidad, concluyendo finalmente que al conocer con mayor detalle la dinámica del consumo se constituye como un elemento imprescindible a la hora de reducir los costos en los que incurren las empresas por este concepto, pero dejando de lado el amplio sector residencial en el que la energía eléctrica se consume de forma distribuida.

Entre tanto, en [3] se presenta un estudio acerca de los efectos causados sobre el consumo de energía eléctrica por parte de variables como el clima, las características de construcción de la residencia, la disposición de los electrodomésticos y los hábitos de los ocupantes. Para el levantamiento de la información se utilizaron medidores inteligentes (Smart Meters), concluyéndose finalmente que no se encontró una relación directa entre los niveles de consumo de

energía y el piso en el que se ubica la residencia o la edad de la construcción, pero si una alta dependencia de la edad de los residentes. Si bien este estudio presenta una aplicación importante de los medidores electrónicos interactivos, tiene como finalidad el establecer la incidencia que tendrían algunas variables en el comportamiento del consumo de energía de las residencias objeto de estudio, pero sin constituirse en sí mismo como un equipo que permita a los residentes estar informados permanentemente acerca del comportamiento del consumo generado.

Finalmente, vale la pena destacar el experimento presentado en [4], el cual inició en Irlanda del Norte en 2002, y que consistió en estimar los cambios registrados en el consumo de energía eléctrica en sectores residenciales al permitir que los usuarios contaran con un sistema que los mantuviera permanentemente informados acerca del comportamiento del consumo. Este estudio demostró que el hecho de contar con medidores interactivos permite concientizar al usuario final acerca del consumo realizado, permitiéndole optimizarlo basado en la información recopilada, registrándose disminuciones en el consumo que oscilan entre 11 y 17%, lo cual se constituye como un fuerte indicio de que el hecho de que el consumo de energía eléctrica se realice de una forma realimentada a través de medidores inteligentes y de aplicaciones de visualización de información, permiten optimizar el consumo reduciendo los costos y racionalizando los recursos naturales disponibles.

En este sentido, el presente trabajo se desarrolla con el objetivo de desarrollar un medidor inteligente de bajo costo, capaz de generar la mayor cantidad de información posible para el usuario y con la finalidad de poder integrarlo en aplicaciones de control automático de demanda energética. El proyecto consta de dos etapas principales, la primera corresponde al diseño de una aplicación para teléfonos inteligentes con sistema operativo Android® que sea capaz de obtener datos vía bluetooth como voltaje, corriente, factor de potencia, potencia activa y reactiva, energía e importe; además de mostrarlos en la interfaz de la aplicación cuando el usuario lo requiera. Cabe mencionar que el importe energético, al ser una variable especial, su cálculo se realiza a partir de la consideración de una tarifa fija de tipo domestica (tarifa 1 en México).

## CONCEPTOS BÁSICOS

### Aplicación Móvil

Una aplicación móvil o 'app' (del inglés *application*) es una aplicación informática diseñada para ser ejecutada en teléfonos inteligentes, tabletas, y otros dispositivos móviles, que le permite al usuario efectuar una tarea concreta de cualquier tipo profesional, de ocio, educativas, de acceso a servicios, etc, facilitando las gestiones o actividades a desarrollar [5]. Por lo general, se encuentran disponibles a través de plataformas de distribución operadas por las compañías propietarias de los sistemas operativos móviles como Android, iOS, BlackBerry OS, Windows Phone, entre otros [6].

### Comunicación vía Bluetooth

El Bluetooth es una especificación industrial para redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz. Esta tecnología utiliza la técnica FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) que consiste en dividir la banda de frecuencia de 2.402 – 2.480 GHz en 79 canales de 1 MHz, y después, transmitir la señal utilizando una secuencia de canales que sea conocida tanto para la estación emisora como para la receptora. Por lo tanto, al cambiar de canales con una frecuencia de 1600 veces por segundo, el estándar Bluetooth puede evitar la interferencia con otras señales de radio. Éste estándar de comunicación se basa en el modo de operación maestro/esclavo, donde pueden coexistir hasta diez dispositivos dentro de una sola área de cobertura.

### Factor de Potencia

Dentro de un sistema eléctrico de corriente alterna, el factor de potencia (f.p.) se define como la relación entre la potencia activa,  $P$ , y la potencia aparente,  $S$  [7]. Este factor indica la capacidad que tiene una carga para absorber potencia activa, por esta razón, el f.p. = 1 en cargas puramente resistivas; mientras que para elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia el f.p. = 0. Lo anterior puede entenderse de forma más clara a

partir del 'triángulo de potencia' que se ilustra en la Figura 1.

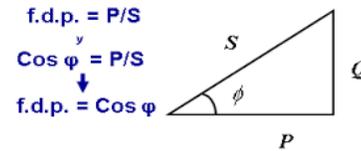


Figura 1: Triángulo de potencia y f.p. visto en términos de potencia activa, reactiva y aparente

Otra forma de visualizar el factor de potencia es mediante el desfase que existe entre el voltaje y la corriente, tal como se muestra en la figura 2. El f.p. es igual al coseno del ángulo de desfase entre éstas dos señales.

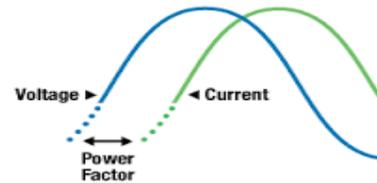


Figura 2: Factor de potencia visto en términos de corriente y voltaje

### Medición de Energía Eléctrica

Como es bien sabido, la potencia eléctrica se obtiene mediante el producto del voltaje por la corriente. En el caso de los sistemas eléctricos en corriente alterna (CA), la magnitud de la potencia activa asociada con cualquier elemento se determina mediante la multiplicación de los valores RMS de dichos parámetros. Por otro lado, para el cálculo de la energía eléctrica que consume o aporta cualquier elemento eléctrico, se determina el producto de la potencia activa en el elemento por el periodo de análisis, generalmente la energía eléctrica se mide en unidades de KWhr.

### Tarifas de Energía

Las tarifas de energía en México se clasifican en tarifas comerciales, domésticas, agrícolas, industriales, etc. El costo del KWhr para cada una de las tarifas varía dependiendo de la zona, y en algunos casos del mes del año, del horario, entre otros factores. Para el presente proyecto se considera la tarifa 1 para la zona sur en México,

donde los costos asociados por consumo energético se muestran en la Figura 3.

2.- Cuotas aplicables en el mes de <span style="float: right;">de 2017.</span>		
JULIO		
<b>Cargos por energía consumida</b>		
Consumo básico	\$ 0.793	por cada uno de los primeros 75 (setenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo intermedio	\$ 0.966	por cada uno de los siguientes 65 (sesenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo excedente	\$ 2.802	por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.

Figura 3: Costo por KWhr en la tarifa 1.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Implementación del Sistema de Medición

Para la implementación del sistema de medición inteligente, es necesario construir un subsistema de medición de parámetros eléctricos. Para el presente proyecto se realizaron mediciones solamente de voltajes y corrientes en las cargas consideradas; para esto, se construyó un pequeño módulo de medición a partir de dos sensores de corriente: el primero, utilizado para la medición del valor RMS de la corriente nominal en la carga; y el segundo, un sensor tipo dona, para medir el valor instantáneo de la señal de corriente.

Para medir la señal del voltaje en la carga, se construyó un módulo de medición basado en la operación de un transformador eléctrico, que disminuye la señal del voltaje de 120V a 6V. Como la medición de la señal de voltaje también se realiza de forma instantánea, al igual que con el sensor de corriente tipo dona, es posible calcular el ángulo de desfase entre las dos señales. Dado que las señales eléctricas tienen una frecuencia de 60Hz, el periodo de estas señales es de 16.66 ms por cada  $2\pi$  rad; de esta forma, si se mide el tiempo que existe entre cada cruce por cero de las señales medidas, es posible determinar el ángulo de desfase entre las dos señales. Una vez calculado el ángulo desfase entre el voltaje y la corriente, mediante las relaciones presentadas en la Figura 1, es posible calcular cada una de las potencias consumidas por la carga, además del factor de potencia.

### Tarjeta de Procesamiento y módulo de comunicación Bluetooth

Los valores capturados por el sistema de medición son enviados y almacenados en la tarjeta de procesamiento (Arduino® UNO), Figura 4.

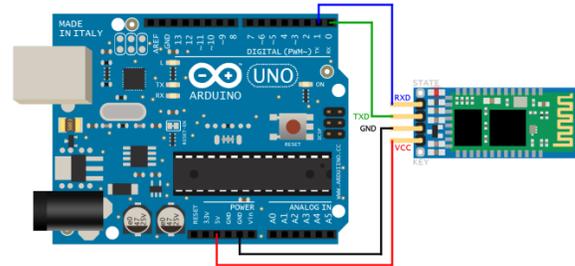


Figura 4: Tarjeta de procesamiento Arduino® UNO con módulo de comunicación inalámbrica Bluetooth.

La tarjeta de procesamiento es la encargada de analizar la información capturada, y a partir de ésta, determinar todos los parámetros asociados con el consumo energético de la carga (potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, consumo energético e importe). Los valores calculados se actualizan cada 1.2 segundos y son enviados vía bluetooth hacia el teléfono celular. Para el almacenamiento de los datos dentro del microcontrolador de la tarjeta se realizó un arreglo de sobre-escritura para optimizar la memoria de la tarjeta. Por otro lado, para el envío de la información se hizo uso de la tecnología bluetooth, tecnología que permite un gran radio de cobertura y es más barata que la tecnología wifi. El sistema experimental de medición, procesamiento y comunicación, se muestran en la Figura 5.



Figura 5: circuito de medición, procesado y envío de datos

El diseño final del módulo de medición inteligente, se presenta en la Figura 6.



Figura 6: Diseño final del módulo de medición inteligente

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Aplicación para monitoreo de consumo energético.

Para realizar el monitoreo de la información calculada por la tarjeta de procesamiento, se desarrolló una aplicación de interfaz para dispositivos móviles a partir de la herramienta *App Inventor 2*, la cual establece la comunicación inalámbrica entre el teléfono y el medidor inteligente de forma automática. La aplicación cuenta con dos botones: el primero para establecer la conexión entre el medidor y el teléfono; y el segundo para desconectar el enlace y cerrar la aplicación. La interfaz desarrollada se exhibe en la Figura 7.



Figura 7: Izquierda: Interfaz de la aplicación móvil. Derecha: mediciones de consumo energético en la carga.

Finalmente, la operación del medidor inteligente desarrollado se verifica mediante una prueba consistente en medir el consumo energético de una carga residencial conectada durante 2 hrs al tomacorriente incluido. El resultado de las mediciones calculadas pueden observarse en la Figura 7. Para realizar la medición se utilizaron varias cargas de alto consumo, corroborando la precisión de las mediciones con un medidor electrónico comercial.

## CONCLUSIONES

En el presente proyecto se desarrolló un medidor inteligente de energía eléctrica de bajo costo. El dispositivo implementado es capaz de determinar el voltaje, la corriente, la potencia activa, la potencia reactiva, el factor de potencia, el consumo energético y el importe por dicho consumo. Los parámetros anteriores le brindan al usuario información más comprensible y útil, sobre su consumo energético, permitiéndole de esta manera realizar las acciones adecuadas para racionalizar de mejor manera su demanda energética y así lograr un mayor ahorro económico.

## REFERENCIAS

- [1] M. Venables (2007). "Smart Meters Make Smart Consumers [Analysis]", *Engineering & Technology*, 2(4), 23.
- [2] E. O'Driscoll, G. E. O'Donnell (2003), "Industrial power and energy metering—a state-of-the-art review", *Journal of Cleaner Production*, 41, 53-64.
- [3] A. Kavousian, R. Rajagopal, M. Fischer (2013), "Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants behavior", *Energy*, 55, 184-194.
- [4] W. Gans, A. Alberini, A. Longo (2013), "Smart meter devices and the effect of feedback on residential electricity consumption: Evidence from a natural experiment in Northern Ireland", *Energy Economics*, 36, 729-743.
- [5] Santiago, Raul et al. (2015). *Mobile learning: nuevas realidades en el aula*. Grupo Océano. pp. 8-26-27, 22-29. ISBN 9788449451454.
- [6] Venture Beat. <https://venturebeat.com>. [Consultado el 22 de Julio de 2017].
- [7] Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>. [Consultado 22 de julio de 2017].