

Smart Electric Energy Meter using Raspberry Pi Electronic Board

Medidor Inteligente de Energía Eléctrica utilizando la Tarjeta Electrónica Raspberry Pi

L.F. Tipán J.A. Rumipamba

Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador
E-mail: ltipan@ups.edu.ec; jrumipamba@ups.edu.ec

Abstract

The purpose of this document is to present a Smart Electric energy meter with raspberry Pi and Arduino UNO, to visualize the electric consumption of a home type in real time, using an Android application and web server in raspberry using google spreadsheets . In the present research the base architecture and the methodology used are shown, the data obtained with this proposed system is very similar in comparison with a system that is available in the market, especially European and North American as it is the AEOTEC system that uses Z wave protocols.

Index terms– Raspberry Pi, data acquisition, save energy, smart home, Android, google spread sheet.

Resumen

El objeto de este documento es presentar un medidor de energía eléctrica inteligente con raspberry Pi y Arduino UNO, para visualizar el consumo eléctrico aproximado de un hogar tipo en tiempo real, mediante una aplicación Android y servidor web en la raspberry utilizando hojas de cálculo en línea de google, porque aproximado debido a que no se hace un muestreo de voltaje sino que en base a parámetros definidos se emplean valores establecidos . En la presente investigación se muestra la arquitectura base y la metodología empleada demostrando que los datos obtenidos con este sistema propuesto es muy parecido en comparación con un sistema que se encuentra disponible en el mercado, especialmente europeo y norteamericano como lo es el sistema AEOTEC que utiliza protocolos z wave.

Palabras clave– Raspberry Pi, adquisición de datos, ahorro de energía, hogar inteligente, Android, hoja de cálculo en línea de google.

Recibido: 28-07-2017, Aprobado tras revisión: 21-11-2017

Forma sugerida de citación: Tipán, L.; Rumipamba, J. (2018). “Medidor Inteligente de Energía Eléctrica utilizando la Tarjeta Electrónica Raspberry Pi”. Revista Técnica “energía”. No. 14, Pp. 131-139
ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

El monitoreo y control del consumo eléctrico está adquiriendo nuevas connotaciones, junto con la actual situación económica y con las constantes elevaciones en el precio de las facturas que mes a mes se deben pagar. Este hecho hace que se planteen maneras de controlar el consumo eléctrico (kWh) en determinadas zonas de nuestros hogares, o incluso la monitorización de la energía doméstica total. Con esta intención proponemos la presente investigación. No se trata de un control ni medición sofisticada, pero por precios asequibles se puede tener las ideas más claras en cuanto a ahorro energético. Más bien se trata de la adquisición, almacenamiento y tratamiento de señales con equipos asequibles en nuestro medio.

El trabajo realizado por P Arun Chandra [1] resuelve el problema de adquisición de datos mediante una Raspberry Pi que usa como servidor y hardware de su sistema propuesto. Dicho trabajo investiga la posibilidad de reemplazar los medidores de energía que se utilizan actualmente en la India con el sistema de medición automático que propone en su artículo. P Arun Chandra almacena los valores de consumo medidos a través de un sensor de luz en una hoja de datos de google, y los deja accesibles a través de una página web, una aplicación de Android y mensajes instantáneos. En base a [1] se ha realizado el presente trabajo de investigación, ya que el método que P Arun Chandra propone para medir la energía se puede aplicar también como se lo propone en el presente artículo.

Hay varios estudios relacionados con el tema y que involucran una tarjeta Raspberry Pi como servidor del sistema y como hardware de control. El medidor eléctrico automático que propone Altir Christian D. Bonganay [2] automated meter reading systems (AMR se basa en una Raspberry Pi que envía los datos mediante el protocolo ZigBee. Dario Assante [3] propone un pequeño sistema fotovoltaico controlado por una Raspberry Pi que permite medir corriente y voltaje y presentar los valores obtenidos a través de una página web. Mikel Armendariz [4] propone una plataforma de simulación de medio y bajo voltaje que pueda ser monitoreada en tiempo real mediante una Raspberry Pi y un Arduino. Alexandru Sfirat [5] realiza un monitoreo experimental de un módulo termoeléctrico para controlar la corriente y el voltaje mediante una Raspberry Pi en base a parámetros especificados.

Debido a que el objetivo de la presente investigación es también presentar los datos de medida en tiempo real en un dispositivo inteligente de Android, se ha revisado trabajos como los de Cesar Cheuque [6], Ching-Chuan Wei [7], Kryvyy Rostyslav [8], Nikhil Agrawal [9] que presentan a la tarjeta electrónica Raspberry Pi como una opción viable y económica para usarla como servidor web.

Las pruebas realizadas en [10] entre un dispositivo de Android y un servidor programado con Python en una tarjeta Raspberry Pi concluyen el buen funcionamiento entre ambos dispositivos.

La adquisición de datos para el medidor de energía que se propone en esta investigación se lo hace con la ayuda de una tarjeta Arduino UNO, provista de dos sensores de corriente de efecto hall junto con un acondicionador de señal. Además, cuenta también con un keypad LCD que muestra los valores de corriente medidos, los mismos que se envían por medio de una conexión serial a una tarjeta Raspberry Pi modelo 3 +B, la cual se la utiliza como servidor web.

El presente documento está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta el diseño del sistema medidor de energía eléctrica propuesto. La metodología del sistema se presenta en la sección 3. En la sección 4 se realizan pruebas con el sistema propuesto. La sección 5 presenta un análisis y comparación con otro sistema de medición inteligente. Por último, las conclusiones obtenidas y trabajos futuros se presentan en la sección 6.

2. SISTEMA MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El monitor de energía que se propone en esta investigación se basa en el uso de una tarjeta Arduino UNO, la cual está configurada de tal manera que pueda recolectar los valores de corriente de equipos eléctricos. La medición de corriente se realiza con la ayuda de dos sensores de efecto Hall, los cuales se conectan a 2 líneas en caso de ser cargas bifásicas y a 1 línea en caso de ser monofásicas. Los valores obtenidos pasan a la tarjeta Arduino en donde se hace un tratamiento de la señal para poder obtener un valor eficaz real.

Previamente se hizo una comparativa con una pinza amperimétrica disponible en el mercado, para comprobar que los valores leídos con el sensor de efecto hall y el Arduino tengan parecido con los valores reales. Los valores medidos son RMS y se los envía por medio de una conexión serial hacia una tarjeta Raspberry Pi, en donde son almacenados y enviados a una hoja de cálculo de google.

Con los datos almacenados se realizan las gráficas de consumo de corriente, potencia y energía, lo que permite obtener un estimado mensual del consumo de energía. Dicho consumo podría ser generado por un equipo eléctrico o el consumo total de una residencia. La Fig. 1 muestra la arquitectura del sistema medidor de energía que se propone en el presente artículo.

El medidor de energía eléctrica que se propone está diseñado para precisar de una medición en tiempo real y para que los valores obtenidos sean

almacenados en la nube. Los datos medidos se mantendrán almacenado por cierto tiempo a fin de no alcanzar límites de peso considerables. De igual manera un aplicativo móvil basado en Android se conecta mediante wifi al sistema, para mostrar las curvas características del consumo de corriente del equipo que se esté midiendo en ese instante.



Figura 1: Arquitectura del Sistema Medidor de Energía Eléctrica Propuesto

3. METODOLOGÍA DEL SISTEMA

3.1. Lectura de Corrientes de Carga

Se han utilizado dos sensores tipo SCT-013-100, con los cuales se puede medir una corriente de hasta de 100[A]. Con dicho sensor se considero que si se tiene como salida 50[mA] la proporción entonces es de 100[A]/50[mA]. La salida de este sensor es una señal alterna, cuyo valor no está dentro del rango de las entradas analógicas (0 a +5[V]) del Arduino. Si bien el rango del sensor puede ser inferior, la parte negativa de la señal podría dañar el Arduino. Lo ideal es, acondicionar la señal a una salida de 0 a 5[V].

Para acondicionar la señal se ha rectificado la entrada y se trabajó con la parte positiva asumiendo que la señal es simétrica. Para esto se utilizó un operacional configurado en un seguidor de voltaje. El operacional utilizado fue el LM358 que trabaja con polaridad positiva, de esta forma se eliminó la parte negativa de la señal. Si bien no se consiguió un rectificador de onda completa, se observó que con una rectificación de media onda era suficiente para acondicionar la señal. Por otra parte, ya que el LM358 se alimenta con 5[V], se satura con 3.5[V] aproximadamente, motivo por el cual no se puede amplificar la señal hasta 5[V]. Pero ya que se trabaja con una tarjeta Arduino no se necesita alcanzar los 5[V], se puede trabajar con la referencia interna de 1.1[V] y de esta forma se aprovechó el rango completo de la lectura analógica.

3.2. Adquisición y Presentación de Datos

Utilizando una carga de prueba (un computador personal) para medir la corriente de consumo y verificar el funcionamiento del medidor. Para obtener los datos de corriente se utilizó el circuito acondicionador de señal y el Arduino mencionados en la sección A. Los datos fueron procesados dentro del Arduino y luego enviados por conexión serial hacia la Raspberry Pi.

En el script de Python de la Raspberry Pi se importó las funciones necesarias para utilizar el puerto serie. Además también, se creó una variable llamada "arduino" con los datos necesarios (puerto y baudios) para establecer la comunicación. Tras esto, en un while-true se recibió continuamente los datos capturados por el puerto serie, y se los mostró de forma secuencial en una pantalla conectada a la Raspberry Pi.

Además de la pantalla conectada a la Raspberry Pi, los datos se visualizaron en una aplicación de Android. Esto último, para que el usuario pueda observar el consumo de energía eléctrica en gráficas de tiempo real. Algunos de los datos obtenidos en un intervalo de 21 segundos se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1: Datos de Corriente Obtenidos de una Computadora Personal y Secador de Cabello de 1000 W

Tiempo (s)	Corriente [A] Computador	Corriente [A] Secador de cabello
1	0.245	8,333
2	0.265	8,274
3	0.235	8.022
4	0.247	8.031
5	0.267	7.989
6	0.289	7.985
7	0.314	7.998
8	0.321	8.232
9	0.327	8.126
10	0.338	8.155
11	0.345	8.314
12	0.335	8.193
13	0.325	8.362
14	0.348	8.121
15	0.346	8.269
16	0.354	8.305
17	0.337	8.238
18	0.347	8.119
19	0.348	8.222
20	0.346	8.297
21	0.378	8.300

3.3. Desarrollo de la Aplicación de Android

En base al estudio realizado por los mismos autores del presente trabajo [10], se crea un cliente en un dispositivo de Android utilizando Android Studio. La aplicación creada tiene como finalidad mostrar al usuario el consumo de corriente eléctrica en tiempo real. Un ejemplo de la visualización de la pantalla de la aplicación móvil se puede observar en la Fig. 2, donde se muestra una gráfica de la corriente eléctrica consumida en función del tiempo transcurrido.

El ejemplo de la Fig. 2 presenta la corriente que utiliza un computador personal y en la Fig. 3 la corriente de consumo de un secador de cabello en 21 segundos de acuerdo a la Tabla 1. El dispositivo de Android se conecta con la Raspberry Pi mediante protocolo wifi, y muestra una gráfica de consumo de acuerdo a los datos obtenidos por el sensor de efecto hall.

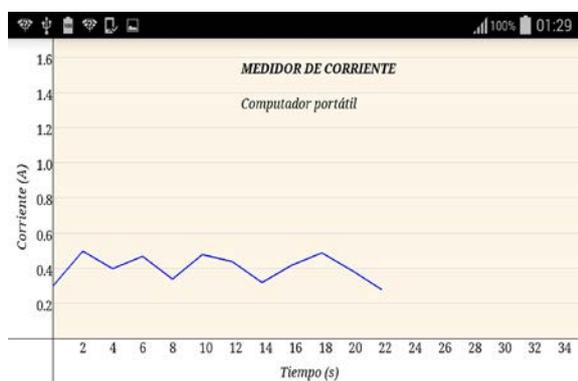


Figura 2: Gráfica de un Dispositivo Android donde se observa la Corriente Consumida por un Computador

4. PRUEBAS REALIZADAS CON EL SISTEMA

Para comprobar el funcionamiento del sistema se seleccionó como carga de prueba un computador personal, y con la ayuda de una pinza amperimétrica comercial se observó la similitud entre los datos de corriente obtenidos. Los datos de la medición se observaron a través de una pantalla conectada a la tarjeta Raspberry Pi. Además, con los valores obtenidos se graficó curvas de corriente en función del tiempo utilizando la librería Matplotlib de Python. También se visualizaron los mismos datos en la gráfica de la aplicación de Android mencionada en la sección 3C. Las lecturas de los datos de consumo de la carga se obtuvieron en tiempo real.

Los medidores inteligentes desarrollados en la actualidad tienen la capacidad de obtener datos de la potencia real, potencia reactiva, y el consumo de energía del lugar en el cual estén instalados, además de enviar esta información a concentradores con cierta frecuencia de tiempo establecida por medio de protocolos y hardware propios de estos medidores.

En Ecuador a la categoría de usuarios residenciales solo se factura la potencia real, debido a que la mayoría de las cargas en las Instalaciones Eléctricas Residenciales son de predominio resistivo, para los parámetros de diseño se ha estandarizado el factor de potencia (fp) al valor de 0.95 según las Normas para sistemas de distribución-Parte A, Guía para diseño de Redes de Distribución DI-EP-P001-D001 de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ)[12], además de que las nuevas tecnologías que han ido surgiendo en la fabricación de electrodomésticos han hecho que su factor de potencia sea cercano a la unidad y sean energéticamente eficientes

Cabe recalcar que los datos obtenidos fueron sólo de la corriente de consumo. Para visualizar la potencia y la energía consumida se debe multiplicar por un voltaje, el cual por factores de la red tendrá fluctuaciones o caídas de voltaje comprendidas entre 2.5% y 3.0% en redes primarias y secundarias [12], este voltaje lo fijaremos a un valor de 120 [V], al tratarse de un centro de carga monofásico, el valor de potencia activa nos dará una buena aproximación al consumo real el cual será analizado más adelante.

En el programa de la Raspberry Pi se ocupó el valor obtenido de la corriente en la ecuación (1), y se asignó un valor $fp = 0.95$ [12] que se obtuvo del medidor inteligente utilizado para el análisis de la sección 5A. El resultado de la potencia activa se multiplica por el tiempo transcurrido en la ecuación (2) y se calcula la energía consumida.

$$P = V \times I \times fp \quad (1)$$

$$E = P \times t \quad (2)$$

Donde:

P = Potencia Activa

fp = Factor de potencia

E = Energía consumida

t = Tiempo de consumo transcurrido

La Fig. 3 muestra la curva de corriente en función del tiempo, obtenida con la librería Matplotlib de Python en la Raspberry Pi. Una vez que se realizó las pruebas con el computador portátil y el secador de cabello se comprobó que los valores obtenidos con la Raspberry Pi frente a los obtenidos por una pinza amperimétrica comercial son muy parecidos, se analizó su eficiencia en la sección 5 donde se realiza una comparación con otro sistema de medición inteligente.

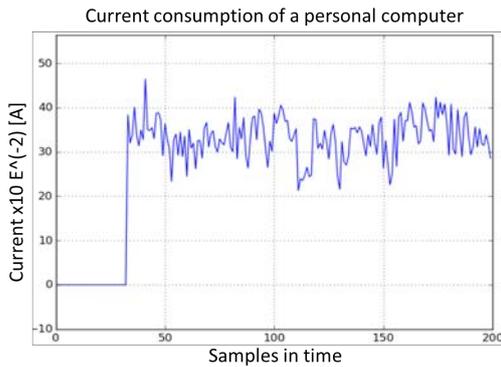


Figura 3: Consumo de Corriente de un Computador Personal

5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE MEDICIÓN INTELIGENTE

Para este análisis se realizó una comparación con un equipo AEOTEC conectado al tablero eléctrico de centro de carga de un hogar en particular. Se obtuvieron medidas de potencia y energía consumida con dicho sistema inteligente, y se compararon con los datos obtenidos por el sistema propuesto en el presente trabajo.

5.1. Potencia y Energía Medidas con el Sistema AEOTEC

AEOTEC Energy Meter es un sistema inteligente que permite medir los parámetros de potencia, energía, corriente y voltaje en tiempo real con una precisión de la medición sobre el 99% según hoja técnica del fabricante [11]. Los datos obtenidos son enviados a un hub centralizado Smartthings de Samsung utilizando el protocolo de comunicación z-wave. Además, dicho dispositivo controla y monitorea sensores desde cualquier parte del mundo brindando protección remota al hogar. La arquitectura del sistema inteligente mencionado anteriormente se muestra en la Fig. 4.



Figura 4: Arquitectura del Sistema Medidor de Energía empleando Equipos Samsung y AEOTEC

Los datos obtenidos por el sistema AEOTEC se pueden visualizar en una hoja de cálculo en la red

de la forma como se muestra en la Tabla 2. Además, también se puede observar los datos de consumo a través de una aplicación para Smartphone (Fig. 5). El medidor inteligente debe estar parametrizado con toda la información necesaria, además de una pequeña programación para que pueda enviar toda la información requerida hacia internet. La particularidad de éste sistema es que se puede acceder a éstos datos desde cualquier parte del mundo por medio de la red sin necesidad de pagos mensuales por costos de dominio.

El medidor AEOTEC obtuvo el consumo de energía eléctrica del hogar de prueba a través de sus pinzas inteligentes instaladas en el tablero de centro de carga. Los datos obtenidos informan la cantidad de consumo de energía en vatios [W] o kilovatios-hora [kWh], todo esto en tiempo real.

Para éste análisis solo se han presentado valores tabulados por un lapso de 4 horas, los cuales muestran el comportamiento de las variables medidas. Con esta información obtenida desde el spreadsheet de google se generó las gráficas de potencia y energía mostradas en las Fig. 6 y 7.



Figura 5: Aplicación Smartphone de AEOTEC



Figura 6: Grafica de Potencia Obtenida de los Datos Capturados por el Medidor Inteligente AEOTEC

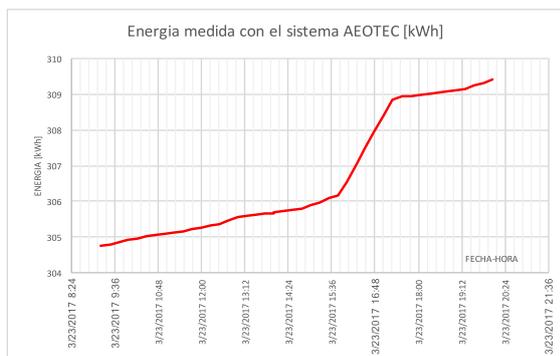


Figura 7: Grafica de Energía Obtenida de los Datos Capturados por el Medidor Inteligente AEOTEC

Tabla 2: Datos Obtenidos por el Sistema AEOTEC

Fecha/Hora.	Energía [kWh]	Potencia [W]
23/03/2017 9:12	304.74	248
23/03/2017 9:28	304.8	232
23/03/2017 9:43	304.86	248
23/03/2017 9:58	304.92	231
23/03/2017 10:13	304.97	149
23/03/2017 10:28	305.02	168
23/03/2017 10:43	305.05	108
23/03/2017 10:58	305.08	100
23/03/2017 11:14	305.11	183
23/03/2017 11:29	305.16	198
23/03/2017 11:44	305.21	191
23/03/2017 11:59	305.26	189
23/03/2017 12:14	305.31	202
23/03/2017 12:29	305.36	184
23/03/2017 12:44	305.46	1102
23/03/2017 12:59	305.56	108
23/03/2017 13:15	305.59	115

5.2. Potencia y Energía Medidas con el Sistema Propuesto

Para obtener los datos de potencia y energía con el sistema propuesto se colocó el sensor de corriente en el tablero eléctrico de centro de carga del hogar de prueba. Debido a que el sistema eléctrico de este hogar en particular es monofásico utilizamos un solo sensor de corriente de efecto hall.

El sensor de efecto hall se conectó al Arduino a través del acondicionador de señal. El Arduino a su vez fue conectado mediante un puerto serial a la Raspberry Pi. Todo esto de acuerdo a la arquitectura mostrada en la Fig. 1. Los sistemas conectados para realizar las pruebas de medición se pueden observar en la Fig. 8.

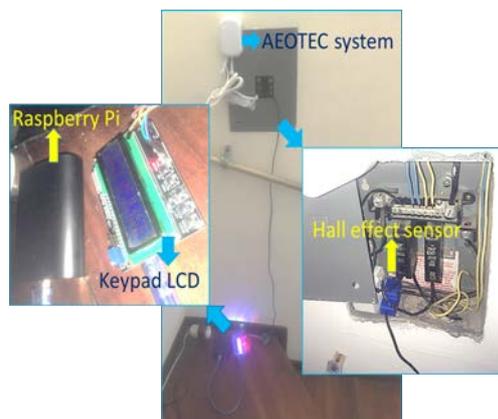


Figura 8: Equipos AEOTEC y Raspberry Pi Conectados al Centro de Carga del Hogar de Prueba

Los datos fueron enviados por la Raspberry Pi a la red y presentados a través de una hoja de cálculo de google. Para esto se desarrolló una aplicación en Python que permite enviar datos a la red. La Tabla 3 muestra los datos obtenidos con el sistema propuesto en el mismo lapso de cuatro horas, y las Fig. 9 y 10 presentan las curvas de la energía y potencia.

Como se puede observar hay un interlavo de tiempo de desfase en la lectura de los datos por parte de la Raspberry Pi que presenta la Tabla 3. Este intervalo de desfase es causado por el tiempo que se pierde en la adquisición y envío de información a la nube por parte del Arduino y la tarjeta Raspberry Pi. También se puede observar que las curvas de potencia y energía (Fig. 9 y 10) generadas por los datos obtenidos con el sistema propuesto, son muy parecidas a las curvas que se graficó con las medidas realizadas por el sistema AEOTEC en las Fig. 6 y 7 de la sección 5.1.

Tabla 3: Datos Obtenidos por la Raspberry Pi

Fecha/Hora.	Potencia [W]	Energía [kWh]
23/03/2017 9:35	246.59	304.86
23/03/2017 9:45	237.52	304.8977393
23/03/2017 9:50	248.86	304.9175098
23/03/2017 10:05	237.29	304.9786779
23/03/2017 10:20	257.19	305.0420467
23/03/2017 10:34	239.04	305.0988187
23/03/2017 10:50	218.7	305.1553162
23/03/2017 11:05	227.45	305.2131896
23/03/2017 11:21	123.89	305.2457107
23/03/2017 11:35	220.23	305.296853
23/03/2017 11:50	284.75	305.3704134
23/03/2017 12:05	202.3	305.4209884
23/03/2017 12:24	192.46	305.4819341
23/03/2017 12:45	172.77	305.5424036
23/03/2017 12:58	1031.28	305.75754
23/03/2017 12:58	1053.04	305.7581251
23/03/2017 13:07	133.95	305.780264
23/03/2017 13:19	143.03	305.8087111

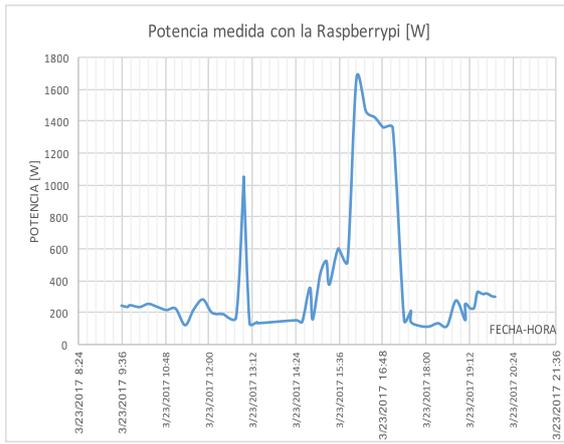


Figura 9: Grafica de Potencia Obtenida de los Datos Capturados por la Tarjeta Electrónica Raspberriypi

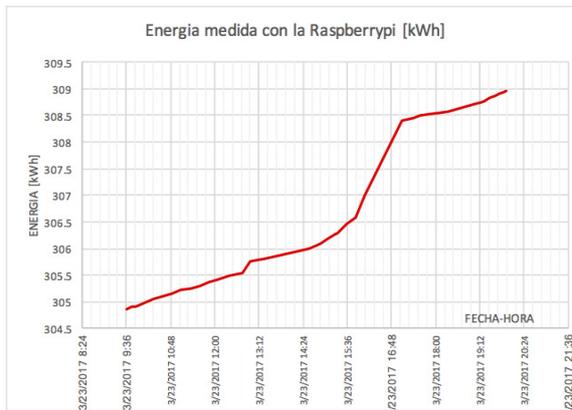


Figura 10: Grafica de Energia Obtenida de los Datos Capturados por la Tarjeta Electrónica Raspberriypi

5.3. Análisis del Error Relativo entre el Sistema Propuesto y el Sistema AEOTEC

Para la estimación del error relativo del sistema propuesto de acuerdo al sistema AEOTEC, primero se clasificó los datos para que puedan ser analizados en un mismo intervalo de tiempo. Después, utilizando la ecuación del error relativo (3) se calculó la diferencia entre las medidas de ambos sistemas y se tabularon en la Tabla 4.

$$E_r = \frac{\text{valor exacto} - \text{valor medido}}{\text{valor exacto}} \cdot 100 \quad (3)$$

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se generaron las Fig. 11 y 12 que muestran las curvas de potencia y energía obtenidas por el sistema AEOTEC y la Raspberriypi en una sola gráfica respectivamente.

En las Fig. 11 y 12 se puede observar de mejor manera el parecido que tienen las curvas de estos sistemas de medición, por lo que se podría decir que el sistema propuesto mide la energía y la potencia de forma adecuada y aproximada.

En la Tabla 4 se muestra la tabulación de errores relativos generados en la medida de potencia y energía, comparando los datos obtenidos con la Raspberriypi y el sistema AEOTEC. De este análisis de errores, se puede visualizar que existen diferencias muy grandes en los datos de potencia, esto se debe a los desfases de tiempo generados por el sistema propuesto. Dichos retrasos de tiempo fueron generados por el sistema propuesto en la adquisición y envío de información a la nube.

Tomando en cuenta las pérdidas de tiempo generadas por el procesamiento de datos dentro del sistema propuesto, además de utilizar el valor del factor de potencia $fp=0.95$ y voltaje de la red monofásica referente al neutro $V=120$ voltios [12], se puede apreciar que las pendientes de las gráficas de potencia y energía para los intervalos de tiempo dados son más altas que las obtenidas con el sistema Aeotec, ya que este sistema considera valores de cargas reactivas como puede ser una lavadora, refrigerador etc. Por otro lado, la aproximación de carga para el diseño del medidor propuesto es resistiva, ahora nace la pregunta como corregir esta aproximación, la respuesta concreta sería realizar un muestreo de voltaje para así poder definir un ángulo de desfase entre corriente y voltaje y así poder tener un valor más exacto del factor de potencia y del voltaje, esta consideración está planteada para un nuevo desarrollo del medidor para una próxima investigación. Se puede observar que errores mayores se presentan en las medidas de potencia. Sin embargo, no es así, en los datos de energía donde observamos que el error es mínimo, ya que aquí se cuantifica el consumo independientemente del desfase ocurrido. En base a esto podemos establecer que el sistema propuesto mide de forma eficiente la energía consumida con cierta aproximación en comparación a un sistema de medición de energía comercial.

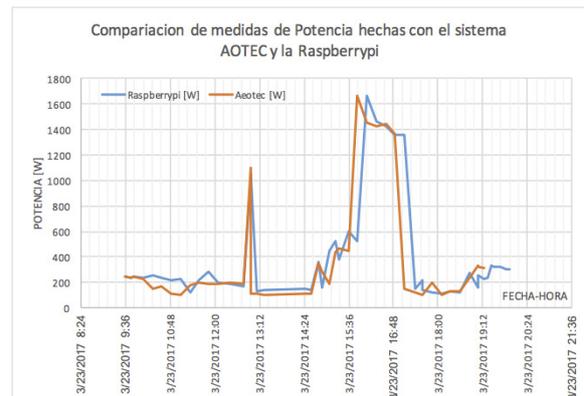


Figura 11: Comparacion de Mediciones de Potencia de los Dos Sistemas

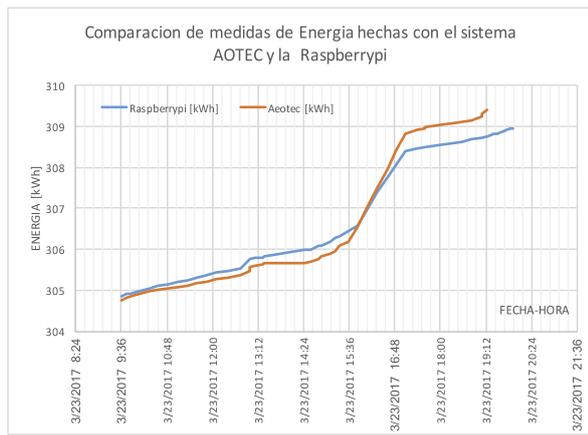


Figura 12: Comparacion de Mediciones de Energia de los Dos Sistemas

Tabla 4: Porcentaje de Error entre la Raspberry Pi y el Sistema AEOTEC

Raspberrypi Potencia [W]	Raspberrypi Energia [kWh]	Aeotec Energia [kWh]	Aeotec Potencia [W]	% error en medida Potencia	% error de medida Energia
246.59	304.86	304.74	248	0.57%	0.04%
237.52	304.90	304.8	232	2.38%	0.03%
248.86	304.92	304.86	248	0.35%	0.02%
237.29	304.98	304.92	231	2.72%	0.02%
257.19	305.04	304.97	149	72.61%	0.02%
239.04	305.10	305.02	168	42.29%	0.03%
218.7	305.16	305.05	108	102.50%	0.03%
227.45	305.21	305.08	100	127.45%	0.04%
123.89	305.25	305.11	183	32.30%	0.04%
220.23	305.30	305.16	198	11.23%	0.04%
284.75	305.37	305.21	191	49.08%	0.05%
202.3	305.42	305.26	189	7.04%	0.05%
192.46	305.48	305.31	202	4.72%	0.06%
172.77	305.54	305.36	184	6.10%	0.06%
1031.28	305.76	305.46	1102	6.42%	0.10%
1053.04	305.76	305.56	108	875.04%	0.06%
133.95	305.78	305.59	115	16.48%	0.06%
143.03	305.81	305.62	101	41.61%	0.06%

6. CONCLUSIONES

Se puede decir que se ha logrado el objetivo propuesto el de implementar un medidor inteligente utilizando la tarjeta electrónica raspberrypi, con las limitaciones del caso, se obtuvo una respuesta aproximada a la de un medidor inteligente comercial, se debe enfatizar en las aproximaciones hechas las cuales atenuaron de cierta manera las medidas de potencia y energía al compararlas con medidores comerciales

Al comparar el sistema de medición propuesto con el sistema AEOTEC disponible en el mercado, se observa que la diferencia en los datos de potencia y energía obtenidos es mínima. Por dicha razón, el sistema propuesto es una buena alternativa para ser utilizado en todos los hogares, debido a su funcionalidad que se demostró en la sección 5.

El sistema propuesto permitiría a las empresas distribuidoras de energía eléctrica hacer un seguimiento y controlar el consumo energético en hogares y oficinas. Además, el sistema podría reemplazar a los medidores eléctricos convencionales, y al personal de las empresas distribuidoras que se encargan de obtener la lectura de los mismos.

Al acceder en tiempo real desde cualquier parte del mundo a los datos del consumo eléctrico de nuestro hogar, brinda un sin número de ventajas, como por ejemplo evitar el uso de ciertos electrodomésticos en horas donde el consumo de energía es costoso. Además, se podría controlar de forma remota ciertos electrodomésticos (si se añadiera el código necesario para controlar los puertos GPIO de la Raspberry Pi), para reducir el consumo y evitar una factura demasiado costosa.

Con el sistema que se propone, los clientes pueden acceder a internet desde un computador o un Smartphone y comparar el consumo diario de energía, incluso hora a hora. Esto último permitiría al usuario estimar de mejor manera los costos de energía para el mes. Además con esta información, las personas que cuentan con ingresos fijos pueden decidir si necesitan recortar los gastos en otras áreas, o reducir el consumo de energía eléctrica.

Se puede destacar el adecuado funcionamiento de la Raspberry Pi como servidor de un sistema de hogar inteligente. El sistema diseñado en este trabajo presenta una interfaz gráfica creada con Android Studio que permite visualizar directamente el consumo en tiempo real. Esto último gracias a que el sistema propuesto cuenta con un servidor programado usando Python en la tarjeta electrónica Raspberry Pi.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. A. Chandra, G. M. Vamsi, Y. S. Manoj, and G. I. Mary, "Automated energy meter using WiFi enabled raspberry Pi," *2016 IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron. Inf. Commun. Technol.*, pp. 1992–1994, 2016.
- [2] A. C. D. Bonganay, J. C. Magno, A. G. Marcellana, J. M. E. Morante, and N. G. Perez, "Automated electric meter reading and monitoring system using ZigBee-integrated raspberry Pi single board computer via Modbus," *2014 IEEE Students' Conf. Electr. Electron. Comput. Sci. SCECS 2014*, 2014.

- [3] D. Assante and M. Tronconi, "A remotely accessible photovoltaic system as didactic laboratory for electrical engineering courses," *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON*, vol. 2015–April, no. March, pp. 479–485, 2015.
- [4] M. Armendariz, M. Chenine, and A. Al-hammouri, "A Co-Simulation Platform for Medium / Low Voltage Monitoring and Control applications," 2014.
- [5] A. Sfirat and A. Gontean, "An Experimental Monitoring System for Thermoelectric Modules," pp. 313–316, 2014.
- [6] C. Cheuque, F. Baeza, G. Marquez, and J. Calderon, "Towards to responsive web services for smart home LED control with Raspberry Pi. A first approach.," in *Proceedings - International Conference of the Chilean Computer Science Society, SCCC*, 2016, vol. 2016–Febru.
- [7] C. C. Wei, Y. M. Chen, C. C. Chang, and C. H. Yu, "The Implementation of Smart Electronic Locking System Based on Z-Wave and Internet," in *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2015*, 2016, pp. 2015–2017.
- [8] K. Rostyslav, S. Tkatchenko, and R. Golovatsyy, "Features home automation system development based Raspberry Pi using Java ME SDK," in *Proceedings of 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015*, 2015, pp. 484–486.
- [9] N. Agrawal and S. Singhal, "Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino," *Int. Conf. Comput. Commun. Autom.*, pp. 928–932, 2015.
- [10] J. Rumipamba y L. Tipan, "Breve análisis del estado del arte de sistemas para casas inteligentes que utilizan la tarjeta electrónica Raspberry Pi", Conferencia INCISCOS 2016 ofrecida por la UTE de Ecuador. inciscos@ute.edu.ec (593) 2 299-0800 Ext. 2167/2563.
- [11] Aeotec by Aeon Labs " This page lists the technical specifications for Home Energy Meter Gen5 and form part of the larger Home Energy Meter Gen5 user guide" [Online]. Available en: <https://aeotec.freshdesk.com/support/solutions/articles/6000168072-home-energy-meter-gen5-technical-specifications-> [Accessed: 20-oct-2017]
- [12] EEQ Normas para sistemas de Distribucion- Parte A, Guia para diseño de redes de distribución DI-EP-P001-D001 ,REV 06, 2015.



Luis Fernando Tipán. - Nació en Quito en 1982. Recibió su título de Ingeniería Electrónica en Control de la Escuela Politécnica Nacional en 2008. Recibió su título de Maestría en Eficiencia Energética en Escuela Politécnica Nacional en 2015. su campo de investigación se

encuentra relacionado con la Electronica de Control basada en tarjetas inteligentes domotica y ,Electronica de los Sistemas de Potencia en energias alternativas.



José Alcides Rumipamba.- Nació en Ambato en 1986. Recibió su título de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales de la Escuela Politécnica de Chimborazo en 2012. Recibió su título de Master Universitario en Automática y Robótica en la

Universidad Politécnica de Madrid en 2016. Su campo de investigación se encuentra relacionado con la Electronica de Control basada en tarjetas inteligentes domotica y, Visión Artificial aplicada a la Robotica.