

Power factor determination through the use of SBC in residential customers

Determinación del factor de potencia mediante el uso de SBC en clientes residenciales

L.F. Tipan¹J.A. Rumipamba¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador
E-mail: ltipan@ups.edu.ec; jrumipamba@ups.edu.ec

Abstract

The delivery of a quality electric service is the main objective of the energy distribution companies. There are problems of affection in the distribution of energy and one of them are the negative effects caused by the harmonics present in the linear and non-linear loads used by residential and industrial customers sectors, directly affecting the power factor negatively. In this work we measure the power factor produced by typical loads used in residential areas by means of an intelligent based on the use of SBC (Single Board Computer), such as the Raspberry Pi and the Arduino. In addition, the effects produced by the power factor are evaluated to then determine its influence on the voltage distortion in a distribution system.

Index terms— Power factor, armonics, attenuation, load not linear, current distortion, voltage distortion, smart home, Android, google online spreadsheet.

Resumen

El entregar un servicio eléctrico de calidad es el principal objetivo de las empresas distribuidoras de energía. Existen problemas de afección en la distribución de energía y uno de ellos son los efectos negativos causados por los armónicos presentes en las cargas lineales y no lineales utilizadas por clientes residenciales e industriales, afectándose directamente en forma negativa el factor de potencia. En este trabajo se mide el factor de potencia producido por cargas típicas que se encuentran en áreas residenciales por medio de un medidor inteligente basado el uso de SBC (Single Board Computer), como son la Raspberry Pi y el Arduino. Además, se evalúan los efectos producidos por este factor de potencia para luego determinar su influencia en la distorsión de voltaje en un sistema de distribución.

Palabras clave— Factor de potencia. armónicos, atenuación, carga no lineal, distorsión de corriente, distorsión de voltaje, hogar inteligente, Android, hoja de cálculo en línea de google.

Recibido: 01-10-2018, Aprobado tras revisión: 16-01-2019

Forma sugerida de citación: Tipan, L.; Rumipamba, J. (2019). "Determinación del factor de potencia mediante el uso de SBC en clientes residenciales". Revista Técnica "energía". No. 15, Issue II, Pp. 66-75.

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2019 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



1. INTRODUCCIÓN

Cada vez es más frecuente el uso e incremento de cargas no lineales en usuarios residenciales, lo que está llevando al problema de la distorsión de la señal de voltaje en los sistemas de distribución. En la actualidad cargas no lineales como computadores televisores, hornos micro ondas, cocinas de inducción , lámparas fluorescentes, etc. son parte de nuestra vida cotidiana, estos equipos introducen un elevado contenido armónico en la red de distribución ya que muchos de estos utilizan convertidores y rectificadores que provocan distorsiones en la forma de onda de corriente por la electrónica de cada circuito, es decir, debido a la carga y descarga de capacitores, a la frecuencia de activación en los elementos rectificadores, etc. Estas cargas no lineales producen armónicos de corriente que rápidamente se transmiten y propagan por la red eléctrica afectando la calidad del servicio de energía eléctrica, provocando daños en equipos sensibles, calentamiento de cables, entre otros.

En las investigaciones recientes se ha popularizado el uso de tarjetas embebidas de bajo costo como son; el “Arduino” y la “Raspberry Pi”. Dichas tarjetas electrónicas se han utilizado para controlar sistemas y automatizar procesos que antes requerían inspección humana todo el tiempo. Debido a este hecho, se ha comparado muchas veces a una tarjeta embebida con una computadora de placa simple, y de ahí nace el termino SBC de sus siglas en inglés (Single Board Computer). Trabajos como el de Faisal Ardhy [9] exponen el potencial que tiene hoy en día el uso de una tarjeta SBC, ya que el autor presenta el desarrollo de una PCB que utiliza el Sistema de Visión por Computador para realizar una inspección óptica sobre un proceso automático.

Debido a que el objetivo de la presente investigación es presentar un medidor inteligente capaz de determinar el factor de potencia (FP) midiendo ángulo de desfase entre la señal de voltaje y la señal de corriente se ha revisado trabajos como los de P Arun Chandra [1], Cesar Cheuque [2], Ching-Chuan Wei [3], Kryvyy Rostyslav [4], Nikhil Agrawal [5], y será la continuación de la investigación ya antes realizada por Tipan y Rumipamba [6] donde se presentó a la tarjeta electrónica Raspberry Pi como una opción viable y económica para usarla como servidor web y medidor de energía eléctrica.

El presente documento está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta el diseño del sistema medidor de factor de potencia propuesto. La estimación del factor de potencia se presenta en la sección 3. En la sección 4 se realizan pruebas con el sistema propuesto y el análisis de los efectos producidos por el factor de potencia. Por último, las conclusiones obtenidas y trabajos futuros se presentan en la sección 5.

2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Al monitor de energía propuesto en una investigación anterior [6], se le ha añadido la capacidad de monitorear voltaje en tiempo real por medio del uso de una tarjeta Arduino UNO, configurada de tal manera que pueda recolectar los valores de voltaje y corriente de equipos eléctricos. Las mediciones se realizan con la ayuda de dos sensores: uno de efecto Hall para medir corriente y el otro un acondicionador de voltaje ZMPT específico para Arduino, los cuales se conectarán al tablero de distribución eléctrico de la residencia.

La tarjeta Raspberry Pi toma los datos leídos por el Arduino UNO y los representa de forma gráfica con las librerías matemáticas de Python, además, almacena dichos datos en una hoja de datos en la nube para visualizarlos desde un dispositivo con conexión a internet. El sistema también permite al usuario observar las gráficas de voltaje y corriente en una aplicación de Android en tiempo real. La metodología empleada es la que se presenta en la Fig. 1, en la que se detalla de forma gráfica los elementos del sistema propuesto.

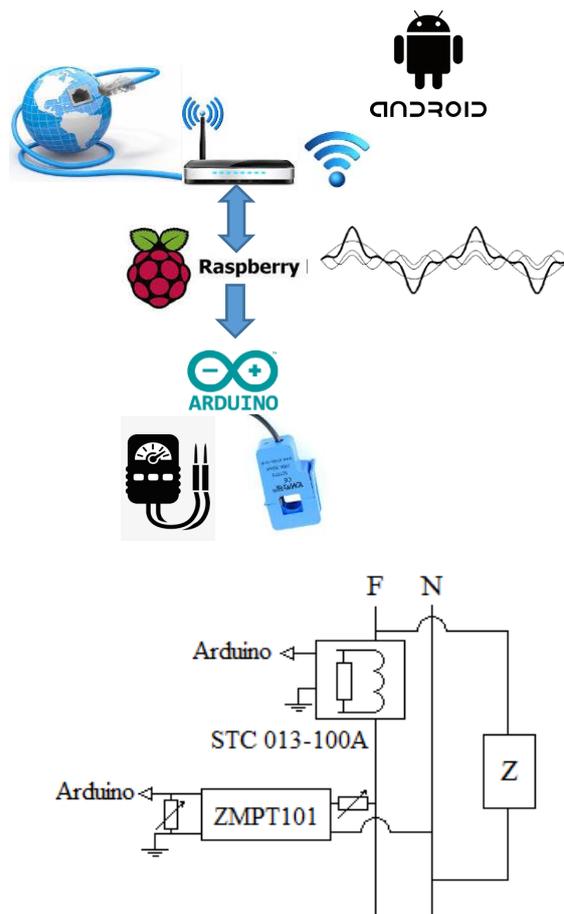


Figura 1: Arquitectura y diseño electrónico del sistema medidor del factor de potencia propuesto

2.1. Diseño constructivo del medidor

Como se puede apreciar en la arquitectura del sistema la propuesta de estimación del factor de potencia se basa primero en determinar el ángulo de desfase entre el Voltaje y la Corriente medidos en el tablero de distribución de carga de un domicilio ,para ello se necesita medir el voltaje y corriente por lapsos de muestreo múltiplos de la frecuencia de la red eléctrica, para que estos valores se los pueda enviar a un sistema encargado de procesar esta información, los cuales conlleven a determinar esta medida del ángulo de desfase para poder determinar el valor de factor de potencia.

Como punto de partida para el diseño de este sistema se tomo como base el sistema propuesto en una investigación anterior [6], al cual se le adicione un sensor de voltaje capaz de entregar en tiempo real todos los datos de valor pico correspondiente a voltaje ya sea fase neutro o fase – fase para valores comprendidos entre 120 V y 220 V ,y además que su salida sea compatible con los rangos de voltaje aceptados por una tarjeta Arduino, el sensor encontrado en el mercado que cumple con este propósito es el ZMPT101 cuyos rangos de medida están entre -220V-120V-220V con una salida de voltaje AC de 0-5 V, la señal de corriente se la obtiene por medio de un sensor de efecto Hall para ser más específicos el STC-013 con un rango de medida de 0 a 100A y salida en rangos de -3V a 3 V , para poder esta señal utilizarla en la tarjeta Arduino se la tuvo que acondicionar a valores de 0 a 5V

Para determinar la corriente RMS se ha utilizado la ecuación (1) en su forma discreta, el valor de la sumatoria se ha duplicado para compensar la eliminación del semiciclo negativo, el cual se lo anulo en el acondicionador de señal ya que la tarjeta Arduino no acepta voltajes negativos, el tiempo que dura la toma de muestra de corriente para el cálculo del RMS, debe ser múltiplo del Periodo. En nuestro caso 500ms que representan 30 ciclos de una señal de 60Hz.

$$i = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad \text{ò} \quad i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N i_n^2} \quad (1)$$

Donde N es la cantidad de muestras en un periodo o múltiplo de este.

Las señales de voltaje y corriente adquiridas por medio de estos sensores son enviadas a una tarjeta Arduino en la cual son ordenadas y procesadas por medio de librerías matemáticas de forma tal que puedan ser enviadas a un servidor en tiempo real, en este caso una SBC (Single Board Computer) Raspberrypi 3B. Una vez que las señales llegan al servidor aquí se calculan las diferentes potencias y el factor de potencia por medio de

las ecuaciones descritas en la sección 4.3 con la ayuda de Python, para luego, estos valores obtenidos ser almacenadas en la nube para mostrarse por medio de una hoja de cálculo (spreadsheet) de google.

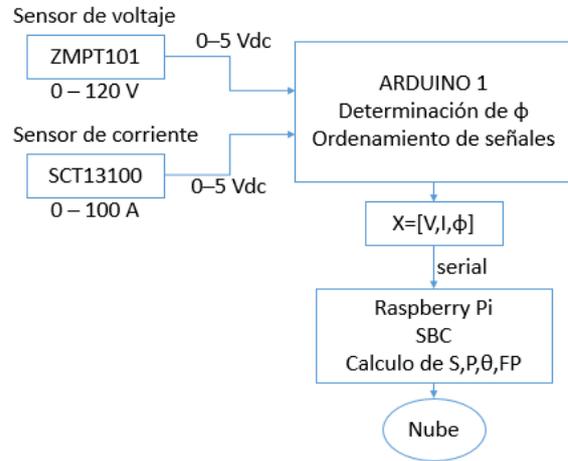


Figura 2: Diseño constructivo del medidor propuesto.

3. ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y PARÁMETROS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para acondicionar la señal de corriente se ha rectificado la entrada y se trabajó con la parte positiva asumiendo que la señal es simétrica para facilitar el cálculo de los desfases y valores RMS [6]. La señal de voltaje de una red monofásica de 120 Vrms se la escaló mediante un acondicionador de señal en rangos de 0 a 5 voltios como valores pico.

Las señales de voltaje y corriente pueden ser dibujadas en forma de ondas sinusoidales en tiempo real utilizando sólo el Arduino UNO. Para representar dichas ondas se realizó un tratamiento matemático a los datos obtenidos por esta tarjeta electrónica y se graficaron en el “Serial Plotter” como se muestra en la Fig. 3.

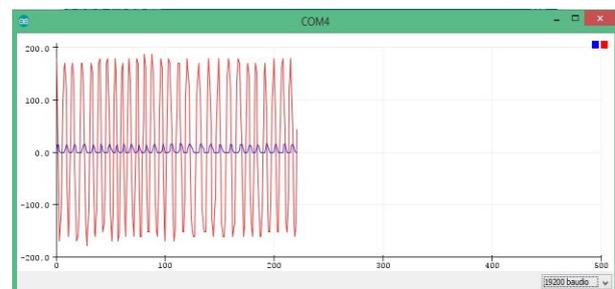


Figura 3: Señales de voltaje (color rojo) y corriente (color azul) representados en el “Serial Plotter” de Arduino UNO



3.1. Lectura de voltaje y corriente detectando el instante de cruce por cero

Mediante programación en Arduino se crearon banderas que detectan el cruce por cero de la señal de voltaje y corriente cada vez que inicia el medio ciclo positivo. En la Fig. 4 se muestran las banderas que detectan el cruce por cero del voltaje en forma de picos positivos (en color azul) y las banderas que detectan el cruce por cero de la corriente en forma de picos negativos (en color rojo).

Con estas banderas se midió el dato de voltaje, corriente y tiempo en el instante del cruce por cero de las señales. Estos datos fueron enviados a la Raspberry Pi para hacer un tratamiento matemático de las señales utilizando Python.

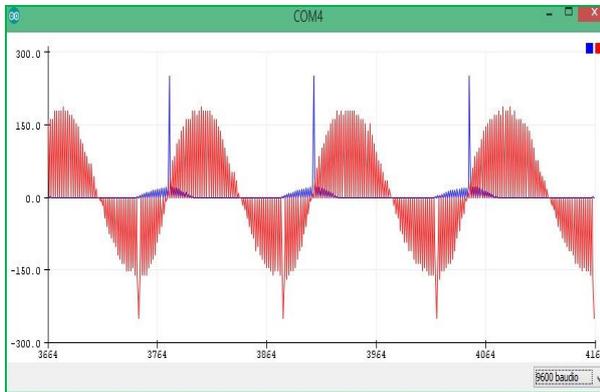


Figura 4: Activación de banderas con Arduino al detectar el cruce por cero del voltaje (color rojo) y la corriente (color azul)

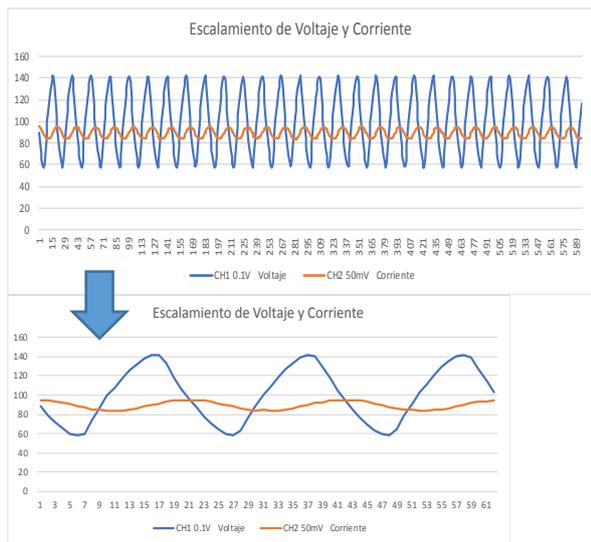


Figura 5: Señales obtenidas con las 590 muestras tomadas con Arduino y graficadas con Python

3.2. Cálculo del desfase entre Corriente y Voltaje

En base a los datos almacenados en la Raspberry Pi y con la ayuda de las banderas utilizadas en los cruces por cero, es factible determinar el ángulo de desfase entre las señales.

Tabla 1: Muestreo para calcular el desfase por medio de Python en la Raspberry Pi.

MUESTRA	Tiempo (ms)	Cruce por cero	Desfase (ms)	Grados
1	0.79	NA	NA	NA
2	1.58	NA	NA	NA
3	2.37	NA	NA	NA
4	3.81	I	NA	NA
5	3.96	NA	NA	NA
6	4.75	NA	NA	NA
7	5.54	NA	NA	NA
8	6.33	NA	NA	NA
9	7.12	NA	NA	NA
10	7.91	V	4.10	88.54
11	8.70	NA	NA	NA
12	9.49	NA	NA	NA
13	10.28	NA	NA	NA
14	11.08	NA	NA	NA
15	11.87	NA	NA	NA
16	12.01	I	4.10	88.54
17	13.45	NA	NA	NA
18	14.24	NA	NA	NA
19	15.03	NA	NA	NA
20	15.82	NA	NA	NA
21	16.61	NA	NA	NA
22	18.05	V	NA	NA
23	18.20	NA	NA	NA
24	18.99	NA	NA	NA
25	19.78	NA	NA	NA
26	20.57	NA	NA	NA
27	21.36	NA	NA	NA
28	22.15	I	4.10	88.54

Se obtuvieron 590 muestras las mismas abarcan 28 ciclos de repetición, ver Fig. 5. No se consideró un estándar de medición ya que no se cuentan con normas técnicas concretas para la adquisición de datos en cuanto a muestras utilizadas en un SBC para este caso LA tarjeta Raspberry Pi y Arduino. Utilizando las librerías matemáticas de Python se graficó las señales de voltaje y corriente a una escala que permite apreciar visualmente su comportamiento, como se muestra en la ampliación de la parte inferior de la Fig. 5.

Con la gráfica a escala ampliada de la Fig. 5 se evaluó las 28 muestras que se presentan en la Tabla 1. Esta información permitió medir el tiempo de desfase de 4.10 milisegundos entre voltaje y corriente al restar los tiempos correspondientes al cruce por cero del voltaje y la corriente. Este tiempo de desfase proporciona un

ángulo de desfase de 88.5 grados mediante el cálculo con la ecuación (1):

$$\varphi = \frac{Td * 360}{16.67} \quad (2)$$

donde φ es el ángulo de desfase entre voltaje y corriente calculado en grados, Td es el tiempo de desfase en milisegundos, 360 representa un ciclo completo en grados y 16.67 es el período que demora un ciclo en milisegundos.

4. PRUEBAS CON EL SISTEMA PROPUESTO

A continuación, se ha hecho una comparación de medidas de voltaje y corriente con la ayuda de un Osciloscopio portátil.

4.1. Comparación de medida del voltaje y corriente

Para determinar que los datos obtenidos y mostrados por el sistema propuesto son aceptables se los comparó con los datos obtenidos por medio de un osciloscopio. Al medir los mismos parámetros de voltaje (color celeste) y corriente (color amarillo) de la misma carga, con las respectivas atenuaciones de las puntas de prueba para medir un valor de voltaje de red de 120 Vrms, se observó la similitud de la gráfica de la Fig. 6 con la gráfica de la Fig. 3. Con estas pruebas se corroboró que los datos obtenidos con el sistema propuesto son correctos.

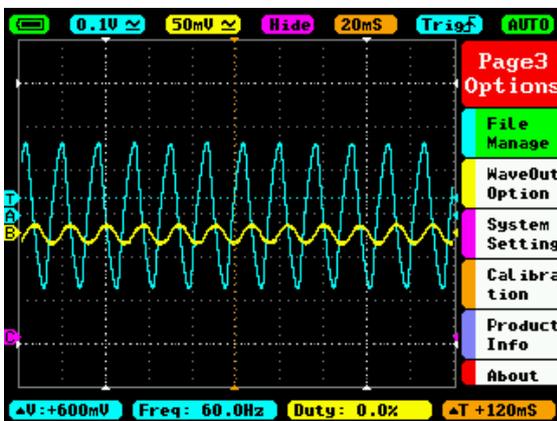


Figura 6: Medidas de Voltaje y Corriente de una carga inductiva de pruebas obtenidas con un osciloscopio DSO2012

4.2. Comparación de medida del factor de potencia

Con el osciloscopio se midió el voltaje y la corriente para determinar el desfase existente entre las señales medidas en la carga inductiva de prueba por medio de las funciones que este instrumento posee. Y con esto, en la Fig. 7 se observó un desfase 4.40 ms en el instante de cruce por cero correspondiente a 95° grados que se lo calcula mediante (1).

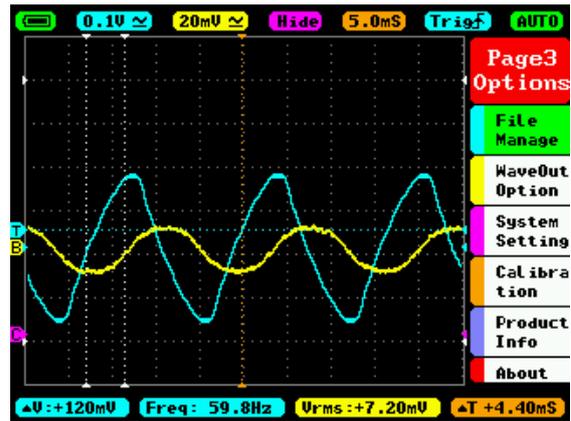


Figura 7: Medida del desfase entre voltaje y corriente de una carga inductiva de prueba obtenida con un osciloscopio DSO2012

El tiempo de desfase de 4.40 ms obtenido con el osciloscopio es cercano al tiempo que se obtuvo con la información de la Tabla 1 con la Raspberry Pi, donde se observó un tiempo de desfase de 4.10 milisegundos correspondiente a un ángulo de 88.5 grados. La diferencia entre los valores de tiempo de desfase se debe a los tiempos de muestreo que posee cada instrumento de medida, en este caso la tarjeta Arduino UNO tiene una frecuencia de muestreo de 8.152 KHz y está programada a 9600 baudios en la lectura de datos y el cálculo de desfase lo hace de manera automática mientras que en el osciloscopio lo hacemos de manera manual

4.3. Análisis del factor de potencia de una residencia

Para estimar los parámetros eléctricos de consumo de una residencia con el medidor propuesto se lo ha conectado al tablero de distribución principal del domicilio y se lo ha dejado conectado por un lapso de 10 horas aproximadamente. Una vez estabilizado el funcionamiento del equipo se registraron, los valores eficaces de corriente, tensión y potencias. Las cargas conectadas a este tablero de distribución fueron las siguientes: computador de escritorio con monitor (PC), horno de microondas (HM), televisor led de 40 pulgadas (TV), equipo de sonido (ES) y lámpara fluorescente balasto electrónico (LFC).

Con las señales de voltaje, corriente y ángulo de desfase obtenidas en la sección 3 se determinó el diagrama fasorial para la correspondiente representación vectorial de tensión y corriente como se muestra en la Fig. 8.

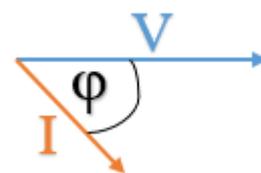


Figura 8: Diagrama Fasorial de Voltaje y Corriente.

El fasor V corresponde a una onda sinusoidal de frecuencia angular ω y con un ángulo de desfase de 0° , mientras que el fasor I es una onda sinusoidal de frecuencia angular ω y con un ángulo de desfase $-\varphi$ con respecto al fasor V .

$$v(t) = V_{max} \cdot \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$i(t) = I_{max} \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

Utilizando las ecuaciones de voltaje (3) y corriente (4) se obtuvo la potencia $p(t)$ que es igual al producto entre la tensión $v(t)$ y la corriente $i(t)$ como se lo puede observar en (4).

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = V_{max} \cdot \sin(\omega t) \cdot I_{max} \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (5)$$

Desarrollando matemáticamente como se muestra a continuación se obtuvo la ecuación (6) a partir de la expresión (5).

$$p(t) = V_{max} I_{max} \sin(\omega t) \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = V_{max} I_{max} [\sin(\omega t) \cdot (\sin(\omega t) \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos(\omega t))] \quad (6)$$

y mediante las siguientes identidades trigonométricas:

$$\sin^2(\omega t) = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2}$$

$$\sin(2\omega t) = 2 \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\omega t)$$

Se obtuvo la expresión (6) para la potencia instantánea.

$$p(t) = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] \quad (6)$$

En la expresión (6) se puede observar que la potencia instantánea es una señal sinusoidal de frecuencia doble a la de la tensión aplicada, y que oscila en torno a un valor promedio de (7).

$$P = \frac{V_{max} \cdot I_{max} \cdot \cos \varphi}{2} \quad (7)$$

donde P se denomina potencia media, potencia real o potencia activa, y corresponde a la potencia que realiza el trabajo.

La expresión (6) de la potencia instantánea $p(t)$, se puede reescribir como se muestra en (8) usando la siguiente identidad trigonométrica:

$$\cos(2\omega t - \varphi) = \cos(2\omega t) \cos \varphi - \sin(2\omega t) \sin \varphi$$

$$p(t) = P(1 - \cos(2\omega t)) - Q \cdot \sin(2\omega t) \quad (8)$$

donde Q se denomina potencia fluctuante, potencia oculta o potencia reactiva como se muestra en (9).

$$Q = \frac{V_{max} \cdot I_{max} \cdot \sin \varphi}{2} \quad (9)$$

La potencia instantánea se puede descomponer en dos partes. Una onda sinusoidal de frecuencia doble que oscila en torno a la potencia activa (7), y una segunda componente de magnitud igual a la potencia reactiva (9) que oscila en torno a cero. Esto significa que la potencia reactiva tiene promedio cero, y por lo tanto no realiza trabajo.

Los valores de la potencia (7) y (9) dependen del valor del desfase φ entre las ondas de voltaje y corriente. Es decir, si el desfase φ es igual a 0° , la potencia activa (7) será igual a la potencia instantánea (6). Sin embargo, si el desfase entre ellos es de -90° entonces la potencia activa (7) será igual a cero. Por otro lado, la potencia aparente se determinó con la ecuación (10).

$$S = V \cdot I \quad (10)$$

Para el cálculo del factor de potencia se ha utilizado la ecuación (11), la cual muestra como resultado un valor típico de una residencia que tenía conectadas las cargas ya mencionadas al inicio de esta sección.

$$FP = \frac{P}{S} \quad (11)$$

En la Tabla 2 se presenta una muestra de la tabulación de los parámetros de potencias obtenidos en un lapso de conexión de 10 horas aproximadamente, enviados por la Raspberry Pi hacia la nube, por medio de los cuales se obtuvo la gráfica de potencias como se puede apreciar en la Fig. 9.

A continuación, se analizó el efecto que tiene el factor de potencia encontrado. Primero se dedujo que el mismo fue producido por el uso de cargas inductivas no lineales que se mencionaron al inicio de esta sección. De forma gráfica se puede apreciar en la Fig. 10 que afecta a la señal de tensión provocando distorsiones en la forma de onda, la misma que se dibujó utilizando el medidor propuesto en este trabajo.



Tabla 2: Potencias Activa, Reactiva y Aparente.

Date/Time.	P [W]	Q [VAR]	S [VA]
8/5/18 09:35	51.18	22.92	60.14
8/5/18 09:36	50.44	22.46	58.93
8/5/18 09:37	53.69	22.13	58.08
8/5/18 09:38	52.68	21.72	56.98
8/5/18 09:39	54.93	22.64	59.41
8/5/18 09:40	55.94	23.06	60.51
8/5/18 09:41	72.45	29.87	78.37
8/5/18 09:42	108.32	45.24	118.71
8/5/18 09:43	38.75	15.97	41.92
8/5/18 09:44	37.40	15.42	40.46
8/5/18 09:45	42.46	17.50	45.93
8/5/18 09:46	41.00	16.90	44.35
8/5/18 09:47	44.82	18.48	48.48
8/5/18 09:48	47.29	19.49	51.15
8/5/18 09:49	39.88	16.44	43.13
8/5/18 09:50	40.44	16.67	43.74
8/5/18 09:51	38.75	15.97	41.92
8/5/18 09:52	39.31	16.21	42.53
8/5/18 09:53	38.19	15.74	41.31
8/5/18 09:54	38.75	15.97	41.92
8/5/18 09:55	39.09	16.11	42.28
8/5/18 09:56	40.21	16.58	43.50
8/5/18 09:57	39.08	16.53	43.38
8/5/18 09:58	45.16	18.61	48.84
8/5/18 09:59	45.04	18.57	48.72
8/5/18 10:00	44.71	18.43	48.36
8/5/18 10:01	44.82	18.48	48.48
8/5/18 10:02	45.04	18.57	48.72
8/5/18 10:03	46.17	19.03	49.94
8/5/18 10:04	44.71	18.43	48.36
8/5/18 10:05	44.82	18.48	48.48

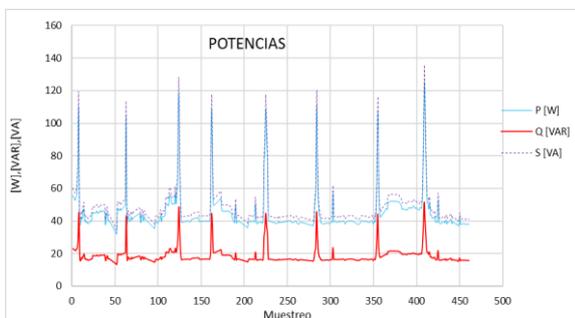


Figura 9: Muestra Diagrama de potencias. Potencia activa (color azul), potencia reactiva (color rojo) y potencia aparente (color verde).

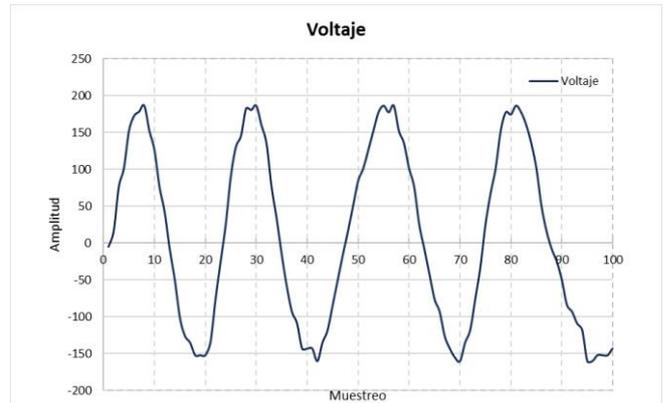


Figura 10: Señal de voltaje distorsionada debido al factor de potencia presente

Luego, con la ayuda de Simulink de MATLAB se determinaron los armónicos presentes en la señal de voltaje como se observa en la Fig. 9. Se puede apreciar fluctuaciones y picos producidos por las cargas presentes en el domicilio, que en definitiva afectaran la red de distribución por la inyección de armónicos.

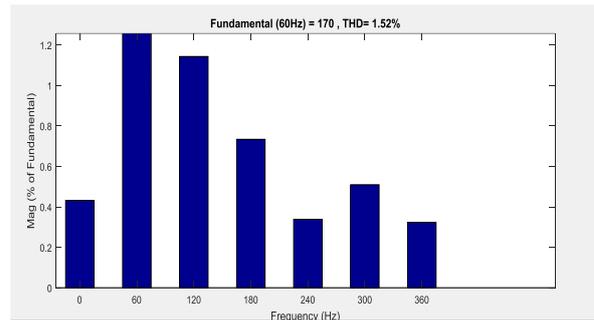


Figura 11: Armónicos obtenidos de la señal de voltaje medida

Para obtener la gráfica de la Fig. 11 se tomaron muestras en el rango de los 500 Hz y un valor de distorsión armónica (THD) del 1.52%. Al analizar dicha gráfica, se pudo observar que la presencia de los armónicos provoca las pequeñas distorsiones en la curva de voltaje, las distorsiones provocadas en la corriente por el uso de cargas no lineales no se las puede apreciar ya que como se mencionó en la Sección 1 al hacer la adquisición de esta señal solo se debe trabajar con la parte positiva de ella por requerimientos de la tarjeta Arduino sin que esto afecte a la medida del desfase entre la señal de voltaje y corriente. Si se suman estas distorsiones provocadas por un domicilio (distorsiones que a simple vista parecen insignificantes) se obtendrá una distorsión significativa que con el tiempo terminará afectando la red de distribución si no se toman medidas correctivas para el mejoramiento del factor de potencia. Tales medidas podrían ejecutarse utilizando cargas lineales o cargas no lineales eficientes con tecnología que corrija automáticamente la deficiencia en el FP.



5. ANALISIS Y COMPARACION DE LA ESTIMACION DEL FACTOR DE POTENCIA FRENTE A OTRO SISTEMA DE MEDICION

Para este análisis se realizó una comparación con un equipo de medición inteligente AEOTEC conectado al tablero eléctrico de centro de carga del hogar objeto de estudio, mismo punto en el cual el sistema propuesto también está conectado por un lapso de 10 horas, las medidas enviadas por este equipo corresponden a potencia activa, reactiva y energía, el factor de potencia no lo representa como un número o dato indicado, pero para la comparación se ha utilizado la ecuación 11 para poder obtener ese dato y así poder compararlo con este sistema arrojando los resultados mostrados a continuación en la Tabla N-3.

Tabla 3: Potencias Activa, Reactiva y Aparente

Date/Time.	FP [SBC]	FP [smart meter]	Error %	Desviacion absoluta
8/5/18 09:35	0.851	0.815	4.43%	0.03
8/5/18 09:36	0.856	0.832	2.93%	0.03
8/5/18 09:42	0.9125	0.903	1.04%	0.01
8/5/18 09:57	0.901	0.894	0.73%	0.01
8/5/18 10:13	0.918	0.906	1.35%	0.01
8/5/18 10:28	0.885	0.870	1.72%	0.02
8/5/18 10:43	0.979	0.953	2.76%	0.03
8/5/18 10:59	0.916	0.893	2.52%	0.03
8/5/18 11:19	0.941	0.926	1.67%	0.02
8/5/18 11:38	0.922	0.907	1.69%	0.02
8/5/18 12:58	0.9245	0.916	0.93%	0.01
8/5/18 15:04	0.901	0.895	0.64%	0.01
8/5/18 15:19	0.932	0.926	0.69%	0.01
8/5/18 15:37	0.924	0.912	1.28%	0.01
8/5/18 16:12	0.939	0.926	1.45%	0.01
8/5/18 16:29	0.9245	0.918	0.75%	0.01
8/5/18 16:57	0.937	0.920	1.90%	0.02
8/5/18 17:14	0.936	0.926	1.12%	0.01
8/5/18 17:32	0.937	0.931	0.65%	0.01
8/5/18 17:48	0.939	0.926	1.45%	0.01
8/5/18 19:16	0.9245	0.918	0.75%	0.01
8/5/18 19:54	0.9345	0.942	0.79%	0.01
8/5/18 20:31	0.9545	0.942	1.30%	0.01
Rango de Medida= 0.09 Promedio= 0.9218				

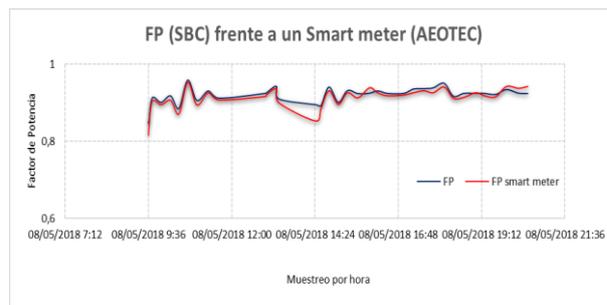


Figura 12: Comparación del FP frente a al medidor inteligente propuesto (Smart Meter)

Del análisis comparativo se determina que el sistema propuesto para la estimación del factor de potencia presenta ciertas deficiencias de error y seguimiento frente a un medidor comercial principalmente en regímenes de carga y descarga de ciertos equipos como refrigeradores, en la figura 9 se presenta estos picos de potencia activa en el momento de la carga típica de un refrigerador, nuestro sistema tiende a seguir la curva característica del factor de potencia (figura. 12) calculado por un medidor inteligente pero no llega a su valor real, los errores son superiores al 2% pero el comportamiento esperado es bueno presentado una respuesta aproximada, estas deficiencias pueden deberse a que la obtención de la curvas de corriente por medio del sensor efecto hall no son las adecuadas para cargas de comportamiento no lineal, al medir el ángulo de desfase entre voltaje y corriente podemos estimar el factor de potencia para cargas de bajo contenido armónico o cargas con aproximaciones lineales, se debe hacer énfasis en mencionar que el acondicionamiento de señal se lo hace para una tarjeta Arduino la cual no acepta valores negativos por ende la adquisición y muestro de la señal de corriente no muestra la distorsión como tal pero si mantiene el desfase para poder estimar el factor de potencia

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es posible medir el factor de potencia residencial con equipos de bajo costo si se determina el ángulo de desfase existente entre el voltaje y la corriente que se consume en dicho domicilio. Cabe recalcar que en el presente trabajo para la obtención de corriente se utilizó un sensor de efecto Hall y para medir el voltaje un acondicionador de voltaje ZMPT, ambos controlados por una tarjeta Arduino UNO.

Se utilizaron dos tarjetas electrónicas. La primera es una tarjeta Arduino UNO y la segunda es una tarjeta Raspberry Pi modelo B1. La primera tarjeta mencionada se encarga de controlar los sensores de voltaje y corriente y adquirir datos para enviarlos a la segunda

tarjeta que se encargará de mostrar resultados a través de una pantalla conectada a la misma y a través de una aplicación de Android. Además, al mismo tiempo la segunda tarjeta se encarga de almacenar los datos en la nube. Se utiliza Arduino UNO con la finalidad de crear un sistema embebido descentralizado e independiente de la Raspberry Pi para que esta última sólo actúe como servidor y administrador de otros sistemas de medición embebidos que pudieran ser creados.

En las señales de voltaje obtenidas si se puede apreciar la distorsión en la forma de onda esto se debe a la utilización de un sensor específico para trabajar con una tarjeta Arduino. El sensor ZMPT101 ya posee el acondicionamiento de señal adecuado para que pueda trabajar en los rangos de voltajes establecidos y requeridos por la tarjeta Arduino. En la señal de corriente no se pudo apreciar de cierta manera las distorsiones en su forma de onda, esto se debe a que la utilización del sensor efecto Hall el STC-013-100A que estamos usando genera señales de salida negativas y positivas las cuales al ser acondicionadas para poder utilizarlas en una tarjeta Arduino nos limitan a obtener toda la característica en forma de la onda. Pero su desfase en comparación al voltaje permanece intacto, un desarrollo a profundidad de este acondicionamiento sin duda mejoraría nuestra propuesta notablemente, pero los resultados obtenidos son bastante aproximados comparándolos con un medidor inteligente.

Este trabajo evaluó el efecto que causa el factor de potencia en la señal de voltaje a partir de un medidor de energía eléctrica inteligente que es la continuación de un trabajo previo mencionado en [6]. Se realizó la estimación y análisis del factor de potencia y se observó los efectos del mismo en la potencia activa y reactiva provocadas por las cargas más representativas y de uso cotidiano en una residencia de tipo promedio y que se mencionaron en la sección 4.3.

De acuerdo al resultado obtenido con el análisis del factor de potencia realizado en este trabajo, se concluyó que el factor de potencia de 0.92 calculado es más bajo que el requerido por la empresa distribuidora EEQ de la zona (Empresa Eléctrica Quito). La EEQ menciona dentro de sus normas de diseño un factor de potencia idóneo de 0.95 de acuerdo a [8]. En base a este resultado se considera que el domicilio estudiado presenta un elevado consumo de energía reactiva respecto a la activa, lo que produce una excesiva circulación de corriente que con el paso del tiempo podría provocar daños por efecto de sobrecargas o recalentamientos. Por otro lado, al analizar el domicilio de pruebas se determinó que el bajo factor de potencia podría deberse a la presencia de equipos no eficientes y a la utilización prolongada de lámparas LFC.

Con el presente trabajo se pretende ayudar a las personas concientizándolas del consumo eléctrico en sus domicilios para que hagan un adecuado uso de los

electrodomésticos de los mismos. En trabajos futuros se pretende obtener un hogar inteligente y eficiente que consuma sólo la energía eléctrica necesaria para reducir el factor de potencia y con ello el costo de sus facturas de consumo eléctrico. Además, de conseguir un hogar inteligente autoajutable al consumo eléctrico se pretende proporcionar a los usuarios el control del mismo a través de una aplicación móvil de acceso remoto.

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] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] N. Agrawal and S. Singhal, "Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino," Int. Conf. Comput. Commun. Autom., pp. 928–932, 2015.
- [6] L. Tipan y J. Rumipamba, "Medidor Inteligente de energía eléctrica utilizando la tarjeta Electronica Raspberry Pi", *Revista Tecniva Energia*. Numero 14, enero 2018-CENACE .

Publicaciones periódicas:

- [7] 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]
- [8] EEQ Normas para sistemas de Distribucion-Parte A, Guia para diseño de redes de distribucionDI-EP-P001-D001 ,REV 06, 2015.



- [9] F. Ardhy and F. I. Hariadi, ‘Development of SBC based machine-vision system for PCB board assembly Automatic Optical Inspection’, 2016 Int. Symp. Electron. Smart Devices, ISESD 2016, pp. 386–393, 2017



Luis Fernando Tipán. - Nació en Quito en 1982. Recibió su título de Ingeniera 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 Electrónica de Control basada en tarjetas inteligentes, domótica y, Electrónica de los Sistemas de Potencia en energías alternativas.



José Alcides Rumipamba. - Nació en Ambato en 1986. Recibió su título de Ingeniera Electrónica en Control y Redes Industriales de la Escuela Politécnica de Chimborazo en 2012. Luego, obtuvo 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 Electrónica de Control basada en tarjetas inteligentes en la domótica y Visión Artificial aplicada a la Robótica para ayudar a personas discapacitadas.