

## Local recorder of electrical parameters for determining the behavior of the residential demand in the city of Cuenca

### Registrador local de parámetros eléctricos para determinar el comportamiento de la demanda residencial en la ciudad de Cuenca

J.S. Guamán<sup>1,2</sup> A. A. Pesántez<sup>1</sup> J.L. Espinoza<sup>1</sup> R.S. Sempértegui<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería - DEET, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

<sup>2</sup>Unidad de Investigación, Instituto Tecnológico Superior Luis R. González, Azogues, Ecuador

E-mail: [sebastian.guaman@institutoscanar.ec](mailto:sebastian.guaman@institutoscanar.ec), [antonio18p@gmail.com](mailto:antonio18p@gmail.com), [juan\\_espinoza@ucuenca.edu.ec](mailto:juan_espinoza@ucuenca.edu.ec), [rodrigo.sempertegui@ucuenca.edu.ec](mailto:rodrigo.sempertegui@ucuenca.edu.ec)

#### Abstract

The aim of this research is to present an electronic instrument, developed locally, which allows to log electrical data and to model energy consumptions of homes in the city of Cuenca-Ecuador. This hands-on research is carried out in order to identify the energy behavior of the electrical demand and to corroborate that the refrigerator is the electric appliance with the most energy consumption inside the homes. By means of real-time measurements it is possible to get first-hand values of electrical parameters at the subscriber level, which has not yet been done in the residential sector of the country. For this reason, an electronic device is developed, which, through firmware programming, delivers RMS voltage, RMS current, power factor and the active power. The equipment records the parameters continuously in periods of one second. This device was developed with relatively low economic resources so it could be disseminated and used massively. The importance of having the electrical parameters in real time begins with the final elimination of consumption speculation based on estimations and paves the way to control the demand from the user side. Through modeling and analysis of the results and the energy consumption curves, energy consumption policies are also proposed within the residential sector, suggesting to change the behavior of the electric energy consumption. In the same way, based on the analysis of the results, it is possible to contribute with technical criteria of energy efficiency for an adequate dimensioning of electrical equipment that conform the distribution system in the residential sector of Cuenca.

**Index terms**— Data logger, Electrical parameters, Energy efficiency, Energy consumption, Cuenca-Ecuador.

Recibido: 02-10-2018, Aprobado tras revisión: 16-01-2019

Forma sugerida de citación: Guamán, J.; Pesántez, A.; Espinoza, J.; Sempértegui, R. (2019). "Registrador local de parámetros eléctricos para determinar el comportamiento de la demanda residencial en la ciudad de Cuenca". Revista Técnica "energía". No. 15, Issue II, Pp. 30-37.

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

© 2019 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

#### Resumen

En esta investigación se presenta un instrumento electrónico, desarrollado localmente, para registrar datos de los parámetros eléctricos relacionados al consumo energético de las viviendas de la ciudad de Cuenca-Ecuador, con el fin de conocer el comportamiento de la demanda y corroborar que el equipo de mayor consumo dentro de los domicilios es la refrigeradora. Mediante las mediciones en tiempo real, se puede conocer valores de primera mano de los parámetros eléctricos a nivel de abonado, lo cual todavía no ha sido realizado en el sector residencial del país. Para ello, se desarrolla un equipo electrónico, que mediante un software de programación entrega los datos de tensión y corriente RMS, así como el factor de potencia y la potencia activa que contabiliza o registra el equipo continuamente en periodos de un segundo. Este aparato fue desarrollado con recursos económicos relativamente bajos por lo que podría ser difundido y usado masivamente. La importancia de tener los parámetros eléctricos en tiempo real, inicia con la eliminación definitiva de la especulación de consumos en base a estimaciones y allana el camino para controlar la demanda desde el usuario. Mediante el análisis de los resultados y las curvas de consumo energético, se proponen además criterios de consumo de electricidad dentro del sector residencial, propendiendo al cambio de comportamientos de dicho consumo. De la misma forma, con los análisis realizados es posible aportar con recomendaciones de eficiencia energética para un adecuado dimensionamiento de los equipos que componen el sistema de distribución en el sector residencial de Cuenca.

**Palabras clave**— Registrador, Parámetros eléctricos, eficiencia energética, consumo energético, Cuenca-Ecuador.

## 1. INTRODUCCIÓN

A pesar de los enormes avances tecnológicos que se vienen presentando en el presente siglo, dentro del campo de consumo energético no ha sido posible desplazar aun el uso de los combustibles fósiles para transporte, industrias y generación de electricidad. En Ecuador, por ejemplo, para cubrir la demanda actual de electricidad, el uso de combustibles fósiles en la matriz de generación puede llegar a representar cerca del 40% [1]. Este es un dato relevante puesto que el Estado ecuatoriano, en la última década, invirtió en la construcción de varias importantes centrales hidroeléctricas a fin de obtener soberanía energética y convertirse en un país con responsabilidad ambiental al emplear fuentes de generación renovable. En efecto, entre 2007 y 2017, Ecuador prácticamente duplicó su oferta de generación hidroeléctrica, pasando de 4.838,16 MW a 8226,42 MW [2].

Por el lado de la demanda, sin embargo, los ciudadanos no disponen de mayor información respecto a cómo implementar medidas de eficiencia energética y reducir sus consumos. Si bien existe un plan nacional que promueve ciertas prácticas y tecnologías eficientes en ciertos sectores de la industria [3], no hay una política pública clara hacia el sector residencial que promueva formas adecuadas de consumo energético en dicho sector, a fin de evitar el “desperdicio” de energía eléctrica. Una de las posibles razones para ello es que no se conoce con exactitud la cantidad de energía que consume un usuario residencial ni la forma como lo hace. Generalmente, en la planificación de las empresas de distribución eléctrica, se emplean aproximaciones en base a clasificar segmentos de consumo residencial o se recurre al uso de “abonados tipo”.

Partiendo de esta realidad, surge la necesidad de conocer el comportamiento de las curvas de consumo de energía eléctrica en los hogares ecuatorianos, por medio de la obtención de datos precisos levantados en tiempo real en los mismos hogares. Si bien existen experiencias a nivel internacional a través de medidores “caseros” y que tienen relación con parte de la problemática planteada [4], es sabido que el consumo energético depende del contexto de cada país o región. En el presente estudio se busca cubrir esa necesidad local y, como etapa inicial, se emplea un software que junto a un equipo electrónico de medición, desarrollados por uno de los autores de este artículo, pueden entregar los parámetros eléctricos de una vivienda. Este es el equipo base para montar un proyecto piloto en tres viviendas de clase media de la ciudad de Cuenca, lugar donde se desarrolló la investigación. Al ser Cuenca la tercera ciudad del Ecuador, con una población superior al medio millón de habitantes y estar situada en la serranía ecuatoriana, los resultados de este estudio pueden ser relevantes y replicables a otras ciudades del país e incluso a otras ciudades andinas.

El sector analizado es el residencial puesto que representa actualmente el mayor grupo de consumo eléctrico en Ecuador, con más del 35% del total [1], [5]. En base a estudios previos, se determinó que la carga considerada de mayor importancia dentro del consumo energético de una vivienda residencial promedio en ciudades de la región Sierra es la refrigeradora, con un 47% del consumo total, a diferencia de la región Costa donde la carga principal es el sistema de aire acondicionado [6]. Por ello, el proyecto desarrollado coloca un registrador de parámetros eléctricos en el tablero de distribución de la vivienda y otro exclusivamente en la refrigeradora, con el fin de confirmar si este equipo es el de mayor consumo en las residencias analizadas y cuánto representa dicho consumo frente a la demanda total. El hecho de ser una ciudad andina, facilita el análisis pues, por ser un clima templado a lo largo de todo el año, el consumo energético de la refrigeradora será más o menos estable en todo el periodo.

### 1.1. Alcance

En base al uso de un sistema fabricado localmente, este documento presenta un aporte a la determinación de la demanda de energía eléctrica y los niveles de consumo de las diferentes cargas que componen una vivienda de clase media del sector urbano de la ciudad de Cuenca. Se analizan en particular los datos de la refrigeradora como electrodoméstico de mayor consumo dentro de los hogares cuencanos. Mediante el análisis de datos tomados en tiempo real se pretende contribuir con información de primera mano relacionada con el comportamiento del consumo eléctrico residencial en una ciudad ecuatoriana.

### 1.2. Problemática planteada y resultados esperados

Actualmente en la ciudad de Cuenca no se cuenta con un registro preciso de parámetros eléctricos en el sector residencial. La importancia de contar con el registro de estos datos radica en la necesidad de monitorear y controlar la calidad de servicio, así como la utilización eficiente de la energía eléctrica por parte de los ciudadanos. Para mejorar un parámetro eléctrico existe la necesidad de medirlo, registrarlo y analizarlo estadísticamente para posteriormente presentar las soluciones [7].

También se debe tomar en cuenta que existen repercusiones de carácter técnico por la falta de información de primera mano de la demanda en el sector residencial. Una repercusión importante en este caso sería la relacionada con un inadecuado dimensionamiento de las redes y equipos de distribución, que bien podrían encontrarse sobrecargados o subutilizados, afectando su vida útil. Otro problema potencial estaría relacionado con la

calidad de servicio reflejada principalmente en bajos niveles de tensión en los puntos de consumo.

### 1.3. Objetivos del estudio

Entre los principales objetivos a ser cumplidos por el proyecto propuesto están:

- Almacenar datos en tiempo real de los parámetros eléctricos principales (tensión, corriente, factor de potencia) relacionados con la demanda de energía eléctrica en una vivienda, considerando tanto la demanda global como la demanda del electrodoméstico de mayor consumo (refrigeradora).
- Analizar los parámetros eléctricos medidos y conocer el comportamiento de la demanda en el sector residencial de clase media de la ciudad de Cuenca, considerando para esto la toma de información en varias viviendas, a nivel de abonado.
- Presentar recomendaciones y criterios de eficiencia energética que permitan optimizar el uso de los recursos y plantear soluciones o mejoras dentro del servicio y las redes eléctricas.

## 2. MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Para realizar la medición de los parámetros eléctricos se elaboraron registradores electrónicos tanto monofásicos como trifásicos (Figuras 1 y 2, respectivamente). Dichos equipos almacenan la información de tensión RMS, corriente RMS y factor de potencia en periodos de un segundo.

Los registradores trifásicos estuvieron destinados a medir el consumo global de la vivienda, mientras que los registradores monofásicos midieron el consumo del electrodoméstico de mayor incidencia en el sector sierra de Ecuador, en el presente caso, la refrigeradora.

La medición de parámetros eléctricos se efectuó durante tres meses (mayo a julio) de 2018 en tres viviendas que se pueden catalogar de ingresos medios, en base a sus consumos eléctricos (200-400 kWh/mes).

### 2.1. Descripción de los Equipos Registradores

Los equipos registradores están basados en el microcontrolador dsPIC30F3014, seleccionado principalmente porque incluye un conversor analógico-digital ADC de 12-bits que permite representar con un buen nivel de resolución (~1mV) las señales analógicas de tensión y corriente. Cabe mencionar que las capacidades de procesamiento digital DSP de este microcontrolador permiten expandir la funcionalidad del sistema, por ejemplo, para realizar análisis de distorsión armónica.

Para medir la corriente eléctrica se utilizan sensores de efecto hall (ACS758-100B, ACS712-30B), con capacidades de 100A para los equipos trifásicos y de 30A para los equipos monofásicos. Se utilizan dichos sensores ya que estos pueden ser conectados directamente a los pines analógicos del microcontrolador, sin mayores requerimientos en cuanto a acondicionamiento de señales.

Para medir los niveles de tensión se utiliza un simple divisor resistivo con resistencias de elevado valor (en el orden de los mega ohmios) más un amplificador operacional que actúa como “buffer” para reducir la impedancia de salida del sensor y no generar problemas en el módulo ADC del microcontrolador. Se debe mencionar que se optó por la opción del divisor resistivo ya que es la más simple y menos costosa forma de medir la tensión. Sin embargo, es necesario tener precaución al momento de conectar el equipo registrador, pues éste se encontrará referenciado con una de las terminales de conexión de corriente alterna, siendo necesario asegurar que ésta terminal de referencia sea siempre el neutro y no la fase.

La base de tiempo para realizar el almacenamiento de la información es dada por un reloj a tiempo real DS1307 que además proporciona la información de hora y fecha. Con el fin de igualar fácilmente este reloj, se implementa una comunicación con un Smartphone Android, por medio de un módulo bluetooth HC-05. La aplicación en Android se desarrolla utilizando la plataforma “AppInventor 2”, que permite igualar el reloj del registrador y también monitorear los parámetros eléctricos que están siendo almacenados. Es también posible igualar el reloj DS1307 de forma manual por medio de botones existentes en los registradores.

El almacenamiento de la información se realiza en una memoria micro SD escribiendo directamente en los sectores de memoria, es decir, sin utilizar un sistema de archivos. Esto permite un almacenamiento rápido y expande las capacidades de almacenamiento de los datos, siendo el sistema capaz de registrar los parámetros eléctricos, en periodos de un segundo, durante un año completo por cada GB de memoria aproximadamente.





Figura 1: Registrador monofásico

Puesto que la memoria microSD del registrador no cuenta con un sistema de archivos, los datos se extraen implementando un programa en el computador. Dicho programa recorre los sectores de memoria de la tarjeta microSD y genera un archivo de datos con formato CSV por cada día de información almacenada.



Figura 2: Registrador trifásico

## 2.2. Metodología de Cálculo

Para realizar los cálculos, considerando una onda de tensión a 60Hz, se toman y acumulan 3000 muestras durante los primeros 26 ciclos de la onda de tensión/corriente. En los 34 ciclos restantes, se realizan los cálculos respectivos, y se llevan a cabo las tareas adicionales (comunicaciones, despliegue de información, etc.)

Los valores de tensión RMS y corriente RMS se calculan de acuerdo con la fórmula presentada a continuación:

$$X_{rms} = \varphi \sqrt{\frac{1}{N} \sum x_k^2 - \left(\frac{1}{N} \sum x_k\right)^2} \quad (1)$$

En donde:



N = número de muestras  
 $X_k$  = magnitud k-ésima de la señal  
 $\varphi$  = factor de escala

La expresión  $\left(\frac{1}{N} \sum x_k\right)^2$  es un promedio de las magnitudes, elevado al cuadrado, que corresponde a la amplitud offset de la componente de corriente continua, presente en las ondas por causa del acondicionamiento de señal en los sensores. Dicha magnitud es sustraída del valor promedio cuadrático para obtener la magnitud RMS de la señal AC.

El factor de potencia se calcula como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente

$$f = P/S \quad (2)$$

La potencia activa se determina empleando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{N} \sum v_k i_k - \left(\frac{1}{N} \sum v_k\right) \left(\frac{1}{N} \sum i_k\right) \quad (3)$$

En donde la expresión  $\left(\frac{1}{N} \sum v_k\right) \left(\frac{1}{N} \sum i_k\right)$  corresponde a la potencia DC generada por los valores de offset presentes en los sensores, la misma que debe ser sustraída del valor de potencia activa.

La potencia aparente se calcula directamente como el producto de los valores de tensión y corriente RMS, es decir:

$$S = V_{rms} * I_{rms} \quad (4)$$

Los cálculos anteriores se realizan independientemente para cada una de las fases.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Gráficas de resultados

#### 3.1.1 Comportamiento del consumo total durante un mes en una vivienda (KWh)

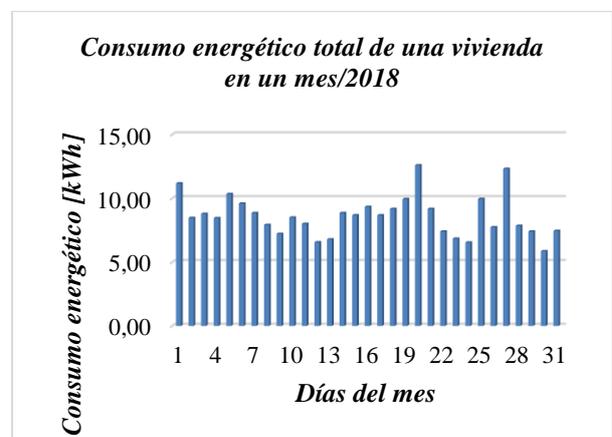


Figura 3: Consumo promedio de la vivienda durante un mes

### 3.1.2 Comportamiento del consumo de la refrigeradora durante un mes en una vivienda (KWh)

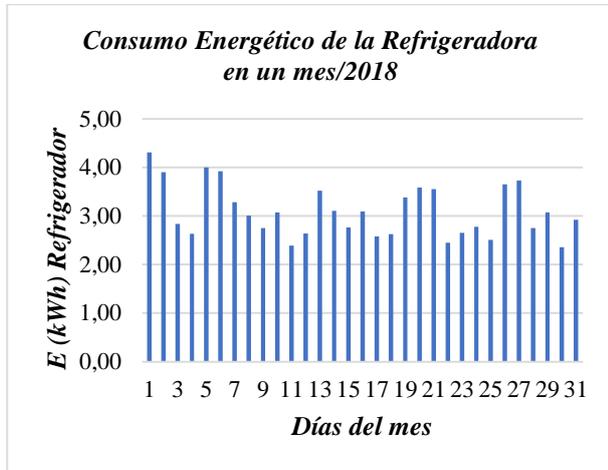


Figura 4: Consumo promedio de la refrigeradora durante un mes

### 3.1.3 Porcentaje representativo del consumo de la refrigeradora respecto del consumo total durante un mes en una vivienda.

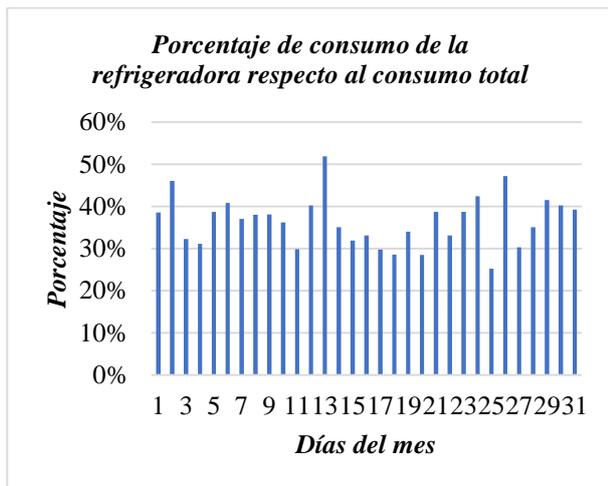


Figura 5: Porcentaje que representa la refrigeradora dentro del consumo total de una vivienda durante un mes

## 3.2. Análisis de datos registrados

Para este análisis es necesario mencionar que las viviendas en estudio presentan varios parámetros en común. El primero de ellos es el nivel de consumo energético cuyo rango está entre 200 y 400 kWh al mes. El segundo aspecto en común es que las residencias analizadas pertenecen a una misma tarifa y tipo de usuario dentro de la empresa distribuidora (Cliente residencial Tipo C), además son familias de clase media conformadas por 4 personas que habitan en un área de construcción similar de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>.

El análisis que se puede realizar de manera

preliminar, acorde a las Fig. 3, 4 y 5, considerando que los datos son de una vivienda promedio, es que el consumo energético durante un mes tiene su valor diario más alto alrededor de 12,5 kWh, su valor mínimo es 5,86 kWh, y el valor promedio en el mes de estudio es 8,59 kWh/día. De la misma forma, para la refrigeradora los valores de consumo diario son: 4,31 kWh, 2,36 kWh y 3,09 kWh respectivamente, lo que representa en valores porcentuales el 52% cuando el consumo es máximo, el 25% cuando el consumo es mínimo y el 36% como valor promedio mensual. Estos valores indican que los mayores consumos energéticos registrados van de la mano con la demanda requerida por la refrigeradora [6].

Para profundizar la investigación y analizar los datos registrados, se procede de la siguiente manera:

En los tres grupos de registradores (1 monofásico y 1 trifásico) instalados en tres viviendas de la ciudad de Cuenca, se analizan los datos obtenidos en términos del consumo energético, tanto del consumo total como del porcentaje que representa la refrigeradora dentro del mismo; considerando los consumos diarios. Se consideran al menos 30 días para el estudio.

Se generan histogramas que permitan comparar y observar fácilmente la información. En las Fig. 6, 7 y 8, en el eje de las abscisas se representa los niveles de consumo energético (en kWh) y en el eje de las ordenadas se muestra la frecuencia o el número de veces que se registra valores dentro de cada rango de consumo.

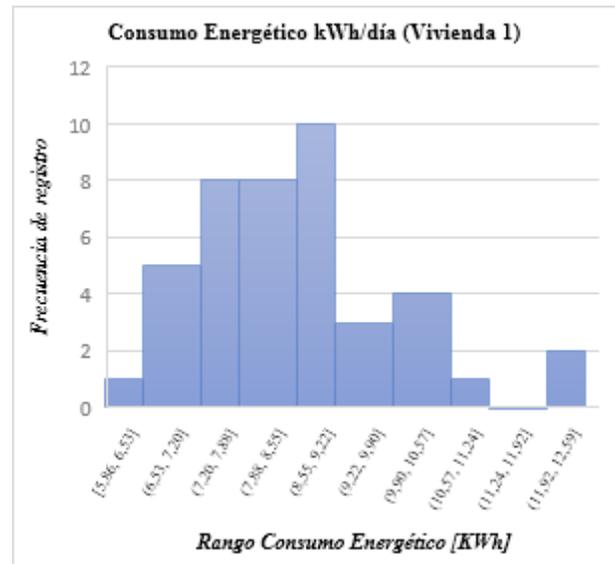


Figura 6: Consumo energético de la Vivienda 1

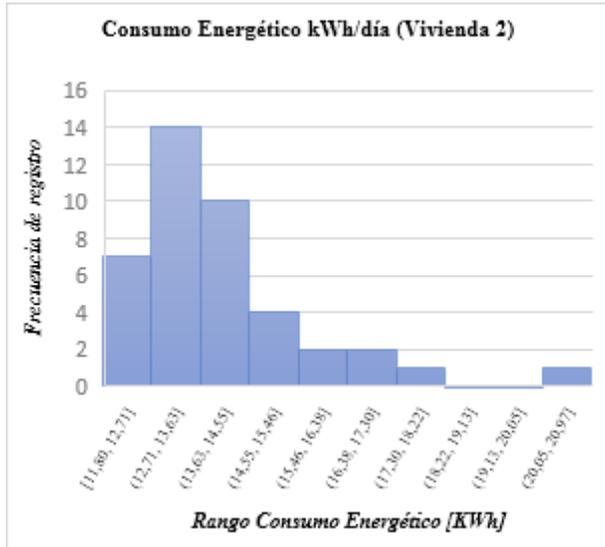


Figura 7: Consumo energético de la Vivienda 2

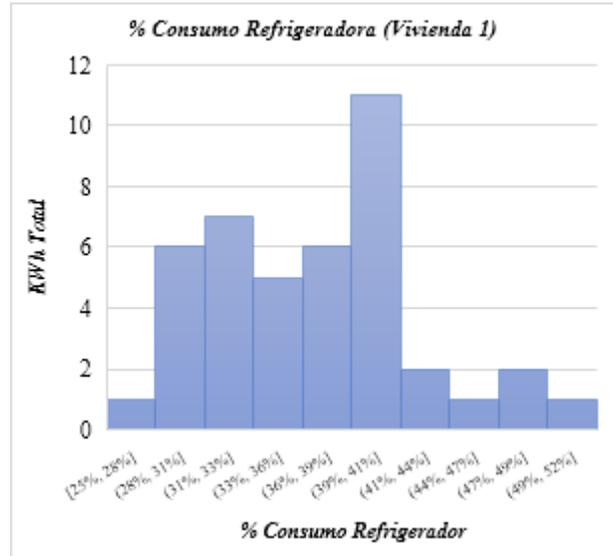


Figura 9: Consumo de la refrigeradora Vivienda 1

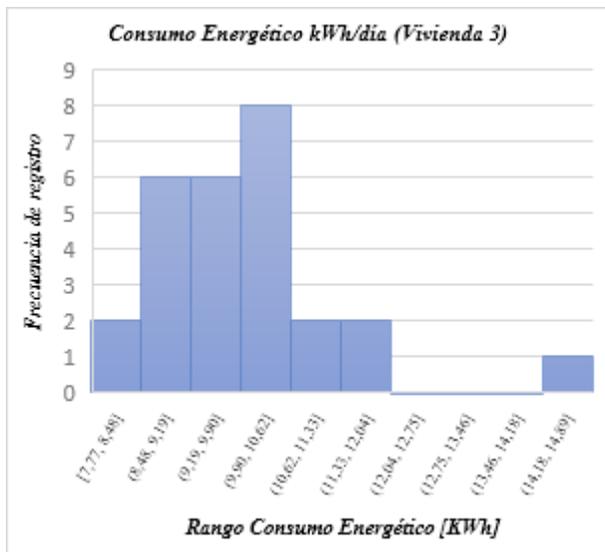


Figura 8: Consumo energético de la Vivienda 3

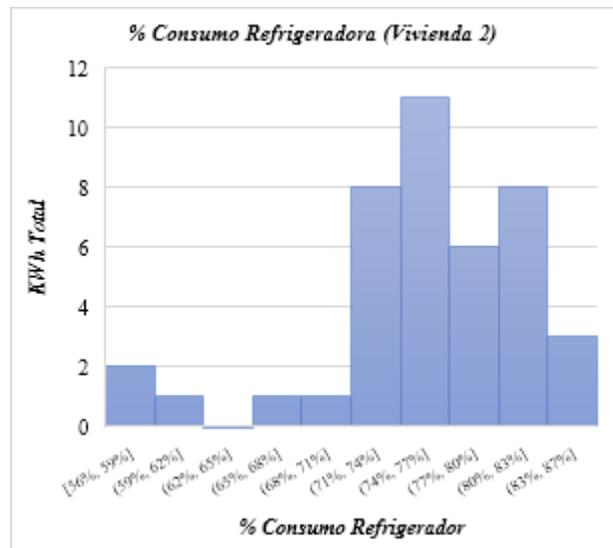


Figura 10: Consumo de la refrigeradora Vivienda 2

Como se observa, en todos los casos, los consumos diarios no son mayores a 15kWh, con excepción de un corto pero considerable consumo que alcanza un pico alrededor de 20kWh en la vivienda 2.

En las Fig. 9, 10 y 11 se presentan histogramas del porcentaje de consumo de la refrigeradora frente al consumo total de cada vivienda

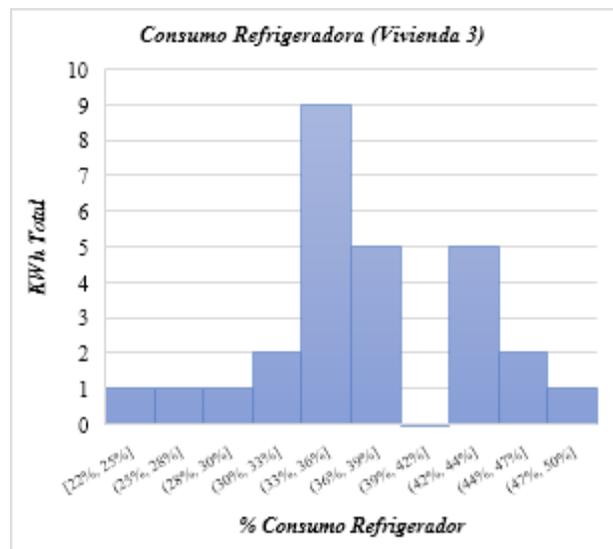


Figura 11: Consumo de la refrigeradora Vivienda 3

Un resultado interesante se determina al observar el porcentaje de consumo de la refrigeradora, respecto del consumo total, se encuentra cerca del 40% para la mayor parte de días, tanto para la vivienda 1 como para la vivienda 3. La vivienda 2 presenta un consumo representativo entre el 70% y 80% del total, generando interés sobre el comportamiento de este electrodoméstico en particular.

### 3.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos muestran que el consumo tanto máximo como mínimo de la vivienda está fuertemente influenciado por el consumo de la refrigeradora. Los valores de promedios de consumo coinciden con estudios previos y con la hipótesis planteada, es decir que la refrigeradora es el electrodoméstico de mayor consumo en Cuenca, con valores del orden del 40% del total de electricidad consumida. El caso del consumo energético de la vivienda 2, donde la refrigeradora en algunos casos llega a representar más del 70% del consumo total, merece un mayor análisis, que está fuera del alcance del presente estudio. Sin embargo, se puede mencionar que dicho artefacto tiene mayor tiempo de vida respecto de los otros dos casos, lo que llevaría a plantear su sustitución por nuevas tecnologías que poseen mayor eficiencia energética.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El propósito de este artículo es mostrar, con un alto grado de precisión, el comportamiento de la demanda en el sector residencial de una ciudad andina como Cuenca. Para el efecto, se ha utilizado un equipo prototipo llamado “Registrador de parámetros eléctricos” el mismo que requiere de recursos económicos mínimos y que su diseño y construcción estuvo a cargo de los autores. Esta investigación puede ser la semilla para generar interés por construir más equipos invirtiendo recursos de otros actores y que tengan un impacto a mayor escala.

La ventaja principal del equipo utilizado es contar con información fiable, de primera mano y en tiempo real. Esto permite a profesionales de la electricidad emitir criterios y soluciones a los problemas técnicos que se observen en base a los registros de datos de parámetros eléctricos. Dentro del campo económico se puede mostrar información de consumo energético, que es el principal interés de los clientes de la empresa distribuidora, a fin de reducir su demanda. Esto puede llevar a cambios en su comportamiento de consumo para obtener ahorros importantes en la planilla mensual.

Para este artículo se trabajó solamente con los datos de consumo energético de tres viviendas de clase media, sin embargo, es necesario ampliar el análisis a más viviendas y otros segmentos económicos. Es también

posible realizar análisis de los demás parámetros eléctricos como tensión, corriente y factor de potencia. Por ejemplo, al analizar el nivel de tensión pueden aparecer disturbios comunes como caídas de tensión o “flicker” de tensión, entre otros que comprometen la calidad de servicio [8] y pueden ser abordados con mayor profundidad para conocer las causas y las soluciones a estos problemas.

En este primer trabajo de mediciones se instalaron los equipos en una ciudad de la serranía ecuatoriana. Se pretende en una segunda etapa realizar registros en alguna ciudad de la costa del Ecuador donde no solo la refrigeradora tiene influencia sobre el consumo total sino también el sistema de aire acondicionado.

Tomando en cuenta la problemática expuesta, se plantea la necesidad de medidas y políticas energéticas que busquen “suavizar” los valores pico de la curva de demanda, haciendo eficiente el consumo de energía eléctrica. La experiencia de trabajar solamente con la refrigeradora puede extenderse a otros electrodomésticos de alto consumo para dicho fin.

Las nuevas tecnologías como el “Smart-metering” o “Demand Side Management” (DSM) buscan tener ciudades inteligentes y sostenibles, al conocer y/o controlar los consumos de energía eléctrica e informar la importancia del buen uso de este recurso con cada artefacto que funciona en una vivienda. Proyectos como el presentado van en esa línea y tienen el potencial de convertirse en una fuente de información confiable para contribuir a la eficiencia energética de las ciudades [9].

Se reitera la importancia de invertir en equipos de medición “caseros” como el registrador presentado, puesto que, al tener la información en tiempo real en los medidores de los usuarios, es potencialmente factible controlar sus consumos y conocer otros parámetros eléctricos de interés. De esta manera se puede mantener informado al cliente y las curvas de consumo presentarán sin duda una onda con menor cantidad de valores picos o mínimos, con los efectos positivos que esto conlleva al sistema eléctrico.

Las empresas distribuidoras de electricidad deberían crear políticas y campañas publicitarias que generen interés en sus clientes por conocer el comportamiento de la demanda. De la misma forma, las empresas y los organismos de gobierno deberían acometer con campañas de actualización de artefactos más eficientes, principalmente la refrigeradora que, de acuerdo a lo que se observa, tiene gran influencia en el consumo total. Iniciativas como el Plan RENOVA [10], liderados por el Estado a través de las empresas distribuidoras deberían ser fortalecidos y extendidos.



## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca - DIUC por el apoyo a este proyecto así como a los dueños de los inmuebles en los que se instalaron los equipos registradores por las facilidades prestadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARCONEL, “Reportes Estadísticos,” Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017. .
- [2] Ponce Jara MA, Castro M., Pelaez Samaniego M.R., Espinoza Abad J.L., and Ruiz E., “Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade,” 513-522, vol. 113, 2018.
- [3] Ministerio de Electricidad y Energías Renovables and Banco Interamericano de Desarrollo, “Plan Nacional del Eficiencia Energética,” MEER, Quito, Ecuador, 2017.
- [4] Rubén Martínez Alonso, Domingo Torres Lucio, Luis Eduardo Ugalde Caballero, and Manuel Madrigal Martínez, “Kilowattorímetro Digital Tipo Doméstico con Registro de Demanda en Base a Tarifas Escalonadas de la CFE,” presented at the Programa de Graduados e Investigación en Ingeniería Eléctrica, Morelia, México, 2013.
- [5] Edgar Santiago Ulloa Arízaga, “Eficiencia del consumo eléctrico en el sector residencial de la ciudad de Cuenca,” Tesis de Magister, Universidad de Cuenca, Cuenca, 2015.
- [6] Manuel Raúl Peláez Samaniego and Juan Leonardo Espinoza Abad, *Energías Renovables en el Ecuador*, Primera edición. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2015.
- [7] J. Balcells, “Calidad de energía eléctrica ¿Como medirla?,” pp. 22–26, 2001.
- [8] Samuel Ramírez Castaño and Eduardo Antonio Cano, *Calidad de los servicios de energía eléctrica*, Primera. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2006.
- [9] Nieves García Martín, “Propuesta y evaluación de tratamientos para la mejora de la eficiencia energética en el sector residencial mediante el desarrollo de experimentos económicos,” Tesis Doctoral, Universidad Jaume I, Castellón, España, 2017.
- [10] Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, “Plan RENOVA,” MEER, Ecuador.



**Sebastián Guamán Herrera.-** Nació en Azogues, Ecuador en 1989. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Cuenca en 2015; de Master en el Instituto Politécnico de Leiria, Portugal en 2017.



**Aurelio Antonio Pesántez.-** Nació en Azogues, Ecuador en 1991. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Cuenca en 2015; de Master en el Instituto Politécnico de Leiria, Portugal en 2017.



**Juan Leonardo Espinoza.-** Nació en Cuenca, Ecuador en 1967. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Cuenca en 1993. Tiene un MSc en Energía y Ambiente (1999), y un PhD (2005) de la Universidad de Calgary, Canadá.



**Rodrigo Sempértregui Álvarez. -** Nació en Cuenca, Ecuador en 1962. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Cuenca en 1988 y obtuvo su Diplomado de Estudios Avanzados - DEA (U. Politécnica de Cataluña) en 2001.