

# Sistema de uso doméstico para monitorear el consumo energético combinando el uso de las plataformas Arduino y Android

## Home use system to monitor energy consumption combining the use of Arduino and Android platforms

DOI: 10.17981/ladee.03.01.2022.2

Fecha de recibido 07/03/2022. Fecha de aceptado 10/04/2022

**Redel Reinaldo López Heredia**

Universidad de Oriente. Santiago de Cuba (Cuba)  
redellopezh@uo.edu.cu

**Angel Antonio Ravelo Batista** 

Universidad de Oriente. Santiago de Cuba (Cuba)  
angeltonio86@gmail.com

**Israel Benítez Pina** 

Universidad de Oriente. Santiago de Cuba (Cuba)  
benitez.israel@gmail.com

Para citar este artículo:

R. López, A. Ravelo e I. Benítez, “Sistema de uso doméstico para monitorear el consumo energético combinando el uso de las plataformas Arduino y Android”, *LADEE*, vol. 3, no. 1, pp. 25–30, 2022. <https://doi.org/10.17981/ladee.03.01.2022.2>

*Resumen*— Los sistemas domóticos se presentan como una estrategia importante para monitorear el consumo eléctrico doméstico para una gestión energética adecuada que permita reducir el consumo en los hogares. En este estudio se desarrolló un sistema domótico económico para medir el consumo eléctrico en tiempo real en hogares cubanos. El sistema está basado en las plataformas Arduino y Android, usando diferentes sensores. Adicionalmente, se desarrolló una App compatible con Android para conectarla con el sistema, permitiendo la interacción entre el usuario y el sistema. Comparado con las mediciones del metro-contador eléctrico de la vivienda, el sistema obtiene resultados con 0.36% de error. Por consiguiente, el sistema es adecuado para medir el consumo eléctrico residencial. Dada sus características, este dispositivo y la aplicación pueden mejorarse para su uso en instalaciones del sector terciario.

*Palabras clave*— Domótica; Eficiencia energética; Edificaciones; consumo de electricidad residencial

*Abstract*— Domotic systems rise as an effective strategy to monitor residential electricity consumption towards adequate energy management to reduce household energy consumption. This study developed a low-cost domotic system to measure electricity consumption in real-time in Cuban households. The system is based on Arduino and Android systems, combined with different sensors. Additionally, an app compatible with Android was developed for the interaction between users and the system. During the experimental validation, contrasting the system results to the household electric meter shows that the system measured the electricity consumption with an error of 0.36%. Consequently, the system is suitable to monitor household electricity consumption. Furthermore, this system can be upgraded to implement it in facilities of the tertiary sector.

*Keywords*— Domotic; Energy efficiency; Buildings; Residential electricity consumption

## I. INTRODUCCION

El ahorro de energía es esencial para reducir las consecuencias ambientales afectando el cambio climático y el calentamiento global [1], [2]. En particular, el sector residencial es el segundo consumidor de electricidad a nivel global con un 27% in 2019 [3]. En Cuba, el sector residencial es el principal consumidor de electricidad representando el 53% del consumo [4], [5]. El consumo energético en edificaciones puede reducirse mediante el uso de tecnologías más eficiente y medidas de ahorro energético, sin afectar el confort [6], [7]. La reducción del consumo energético implica un sistema de monitoreo y control del consumo [8], [9], [10].

Particularmente, Cuba, un país con recursos energéticos limitados, es dependiente de la importación de energía [11], [12], donde el 98% de la generación eléctrica se sustenta con combustibles fósiles [4]. El sector residencial no se caracteriza por una cultura del ahorro, lo cual se combina con la falta de alternativas para monitorear y controlar el consumo eléctrico. Esto implica, que en general, existen oportunidades de ahorro significativa a nivel residencial que pueden aprovecharse dada la disponibilidad de tecnologías adecuadas para este fin.

En particular, la domótica, un enfoque que busca armonizar el funcionamiento de los electrodomésticos en el sector de edificaciones, maximizando su utilidad y minimizando las intervenciones del usuario [13], [14]. No obstante, por sus altos costos, se trabaja en el diseño de bajos costos que hagan esta alternativa más accesible [15]. Por consiguiente, este trabajo busca diseñar e implementar un sistema de uso doméstico para la monitorización del consumo energético. Para este fin, se considera el uso de la plataforma Arduino, para monitorear el consumo eléctrico y el gasto monetario en una vivienda usando una aplicación móvil (inicialmente desarrollada para dispositivos Android). La novedad de este estudio está en el desarrollo de un sistema amigable y sencillo para usuarios residenciales, para monitorear el consumo y los costos de la electricidad en una vivienda, con alertas programables para detectar sobreconsumos, y comparación con consumos históricos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio, se aplica la metodología siguiente:

- Caracterización gnoseológica, histórica y actual de las técnicas de medición del consumo energético en una vivienda; y del uso del sistema Arduino combinado con un dispositivo Android.
- Selección de los módulos de la plataforma Arduino para conformar el hardware del sistema para el monitoreo del consumo energético.
- Diseño de una aplicación que interactúe con el usuario a través del Arduino, para el monitoreo y control del consumo eléctrico.
- Implementar el sistema en una vivienda.

Considerando que la mayoría de los smartphones disponibles en Cuba usan el sistema Android, se desarrolla la aplicación usando este lenguaje utilizando el entorno de desarrollo App Inventor.

### A. Tarifa Eléctrica

En Cuba, la tarifa residencial se incrementa con el consumo para promover el ahorro energético. La [Tabla 1](#) muestra la tarifa eléctrica aplicada al sector residencial.

**TABLA 1.** TARIFA ELÉCTRICA APLICADA AL SECTOR RESIDENCIAL.

| Consumo (kWh) | Precio (Pesos/kWh) |
|---------------|--------------------|
| 0 – 100       | 0.09               |
| 101 – 150     | 0.30               |
| 151 – 200     | 0.40               |
| 201 – 250     | 0.60               |
| 251 – 300     | 0.80               |
| 301 – 350     | 1.50               |
| 351 – 500     | 1.80               |
| 501 – 1000    | 2.00               |
| 1001 – 5000   | 3.00               |
| + 5000        | 5.00               |

Fuente: Elaboración propia.

## B. Sistema de Monitoreo

En este estudio se usa una placa microcontroladora Arduino MEGA 2560 para el procesamiento de los datos del sistema para la monitorización energética. La placa está basada en el ATmega2560 y tiene 54 entradas/salidas digitales, de las cuales 15 proporcionan salida PWM, 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie por hardware), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y botón de Reset [16].

El entorno de programación Arduino IDE (Integrated Development Environment por sus siglas en inglés) se utiliza en este trabajo. El IDE es un entorno de programación empaquetado el cual consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un Constructor de Interfaz Gráfica (GUI), que incorpora herramientas para cargar los programas compilados en el hardware.

Para comunicar el Arduino con otros dispositivos se usó un Escudo Ethernet W5100 que cuenta con capacidad para almacenar información. Por otra parte, para conectar el Arduino con la app se usó el módulo Bluetooth HC-05. Finalmente, se usó un módulo RTC DS3231 para que el sistema cuente con la fecha y hora incluso durante cortes eléctricos. El consumo energético se midió usando un módulo KY-018 para contabilizar los pulsos (parpadeo led) del contador doméstico instalado por la compañía eléctrica (en este caso es un contador de 1600 pulsos/kWh).

La Fig. 1 muestra un esquema del sistema diseñado con los diferentes módulos y la interacción entre vivienda y usuario. La app desarrollada se identificó como Supervisory (Fig. 2).

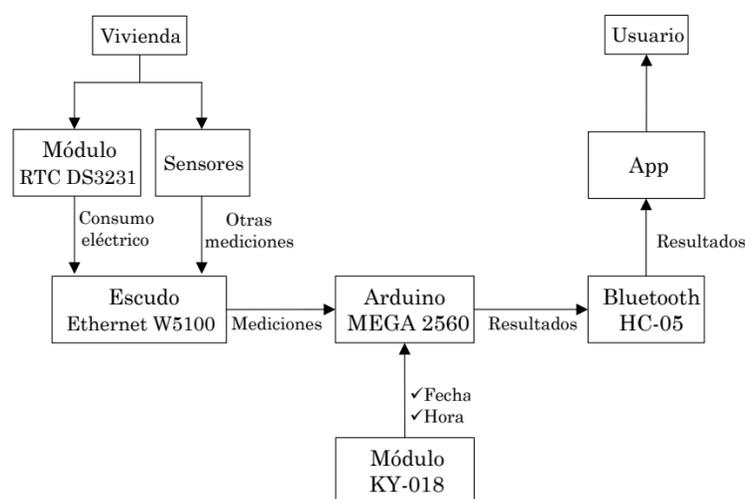


Fig. 1. Sistema de control domótico.  
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 2. App Supervisory.  
Fuente: Elaboración propia.

La [Tabla 2](#) muestra los costos de los diferentes componentes del sistema.

**TABLA 2.** COMPONENTES DEL SISTEMA.

| Componente             | Precios (USD) |
|------------------------|---------------|
| Arduino MEGA           | 16.00         |
| Shield Ethernet W5100  | 7.00          |
| RTC DS3231             | 2.00          |
| Módulo Bluetooth HC-05 | 3.50          |
| Módulo LDR KY-018      | 1.50          |
| Micro SD 4 GB          | 2.00          |
| Fuente de alimentación | 2.00          |
| Conectores(DuPont)     | 0.50          |
| Led de indicación      | 0.21          |
| Total                  | 34.71         |

Fuente: Elaboración propia.

En total, el sistema tiene un costo cercano a los 35 USD sin contar los costos de mano de obra y software. Este costo en general es inferior a los costos de referencia para sistemas similares en el mercado que varían entre 100 USD y 200 USD.

### C. Validación Experimental

La validación experimental se realiza en una vivienda donde se instala el sistema para comparar sus resultados con las mediciones del metro-contador.

## III. RESULTADOS

La validación experimental del sistema se desarrolló durante dos días consecutivos en una vivienda durante su funcionamiento normal. Para esto se construyó el sistema domótico diseñado ([Fig. 3](#)).



**Fig. 3.** Sistema domótico  
Fuente: Autores.

Inicialmente se configuró la fecha y la hora en la app ([Fig. 4](#)).

Configuración de la fecha en el dispositivo supervisorio y característica cant. imp/kWh del metrocontador

| Seg | Min | Hora | AM o PM? |
|-----|-----|------|----------|
| 0   | 38  | 5    | PM       |

| Día | Mes | Año |
|-----|-----|-----|
| 2   | 2   | 18  |

| Día de Semana | Cant. imp/ kWh |
|---------------|----------------|
| 3             | 1600           |

Ej: { 10:30:00 AM } { 24/2/18 } {3}

Aceptar



Fig. 4. Configuración de fecha y hora en Supervisory.  
Fuente: Autores.

El sistema midió el consumo eléctrico durante estos dos días. En total, el sistema midió un consumo de 13.95 kWh, equivalente a un costo de 1.26 pesos según la tarifa considerada. En comparación, el metro-contador midió un consumo de 14 kWh. Por consiguiente, el error en la medición usando el sistema desarrollado es de 0.36%, por lo que puede considerarse como un sistema domótico viable para su comercialización en el mercado.

En general, este sistema representa una alternativa económica para monitorear el consumo energético en viviendas residenciales. Adicionalmente, al medir en tiempo real tiene un potencial de mejora importante, para aumentar la resolución de la información que registra el usuario. Es decir, debe incorporar la capacidad de ver la distribución del consumo diario, incluso calcular un día promedio a la semana, mes, o año. Esto permitiría identificar los horarios y días de mayor consumo eléctrico, lo que mejoraría el proceso de toma de decisiones relacionadas con el ahorro energético. Dadas sus características, este sistema puede mejorarse para desarrollar un sistema más complejo, adecuado para el monitoreo del consumo eléctrico en edificaciones del sector terciario.

#### IV. CONCLUSIONES

Los sistemas domóticos son tecnologías útiles y en expansión para el monitoreo y control del consumo energético en el sector residencial. El uso de estos sistemas en Cuba puede ser una herramienta muy útil, considerando que el sector residencial consume el 53% de la electricidad. El sistema domótico desarrollado mide de manera precisa el consumo doméstico de electricidad, con un error de 0.36%. Este sistema es una alternativa económica para el control del consumo energético doméstico, con un potencial de mejora significativo. Dadas sus características, este sistema puede mejorarse para expandir su aplicación a edificaciones del sector terciario.

#### REFERENCIAS

- [1] P. J. García-guarín, J. Cantor-lópez, C. Cortés-guerrero, M. A. Guzmán-pardo & S. Rivera-rodríguez, "Implementación del algoritmo VNS-DEEPSO para el despacho de energía en redes distribuidas inteligentes", *Inge CUC*, vol. 15, no. 1, pp. 142–154, Jun. 2019. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.13>
- [2] A. Sagastume, J. J. Cabello, D. Huisingh, C. Vandecasteele & L. Hens, "The current potential of low-carbon economy and biomass-based electricity in Cuba. The case of sugarcane, energy cane and marabu (*Dichrostachys cinerea*) as biomass sources," *J Clean Prod*, vol. 172, pp. 2108–2122, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.209>
- [3] IEA. "World electricity final consumption by sector, 1974-2019." Aug. 06, 2021. [Online]. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-final-consumption-by-sector-1974-2019>
- [4] ONE, "Minería y energía", in *Anuario Estadístico de Cuba 2020*. La Habana: Oficina Nacional de Estadísticas, 2021.
- [5] C. Milanés-Batista, H. Tamayo-Yero, D. de Oliveira & J. R. Nuñez-Alvarez, "Application of Business Intelligence in studies management of Hazard, Vulnerability and Risk in Cuba", presented at *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng*, vol. 844, Expotecnología 2019, CTG, CO, 30 Oct.-1 Nov. 2019, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012033>

- [6] W. Li, T. Yigitcanlar, I. Erol & A. Liu, “Motivations, barriers and risks of smart home adoption: From systematic literature review to conceptual framework,” *Energy Res Soc Sci*, vol. 80, no. 2, pp. 102211–102211, Oct. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102211>
- [7] J. Andramuño, E. Mendoza, J. Núñez & E. Liger, “Intelligent distributed module for local control of lighting and electrical outlets in a home,” presented at *9th IC-MSQUARE*, vol. 1730, AIP Publishing, Tinos island, GR, 7-10 Sept. 2020, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1730/1/012001>
- [8] A. M. Vega, F. Santamaria & E. Rivas, “Modeling for home electric energy management: A review,” *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 52, pp. 948–959, Dec. 2015. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.07.023>
- [9] J. R. Nuñez-Álvarez, I.F. Benítez-Pina & Y. Llosas-Albuérne, “Communications in Flexible Supervisor for Laboratory Research,” presented at *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng*, vol. 844, Expotecnología, CTG, CO, 30 Oct. - 1 Nov. 2019, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012016>
- [10] J. Nuñez, I. F. Benítez-Pina & D. M. Carbonell, “Tools for the design of an inmotoc system in the residential block of a five star plus hotel,” *ITEGAM-JETIA*, vol. 4, no. 13, pp. 166–175, Mar. 2018. <https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8986424>
- [11] L. Vázquez, J. Luukkanen, H. Kaisti, M. Käkönen & Y. Majanne, “Decomposition analysis of Cuban energy production and use: Analysis of energy transformation for sustainability,” *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 49, pp. 638–645, Sep. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.156>
- [12] T. Fletcher, “La revolución energética: A model for reducing Cuba’s dependence on Venezuelan oil,” *Int J Cuba Stud*, vol. 9, no. 1, pp. 91–116, 2017. <https://doi.org/10.13169/intejcubastud.9.1.0091>
- [13] G. P. R. Filho, L. A. Villas, V. P. Gonçalves, G. Pessin, A. A. F. Loureiro & J. Ueyama, “Energy-efficient smart home systems: Infrastructure and decision-making process,” *IoT*, vol. 5, pp. 153–167, Mar. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.IOT.2018.12.004>
- [14] J. R. Nuñez, Y. Pérez, I. Benítez & E. Noriega, “Demilitarized network to secure the data stored in industrial networks,” *IJECE*, vol. 11, no. 1, pp. 611–619, Feb. 2021. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i1.pp611-619>
- [15] K. Baraka, M. Ghobril, S. Malek, R. Kanj & A. Kayssi, “Low cost arduino/android-based energy-efficient home automation system with smart task scheduling,” presented at *5th CICSyN*, IEEE, MAD, ES, 5-7 Jun. 2013, pp. 296–301. <https://doi.org/10.1109/CICSYN.2013.47>
- [16] Ingeniería MCI, “Arduino Mega 2560,” *MCI electronics*, Sep. 2019. [Online]. <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>