

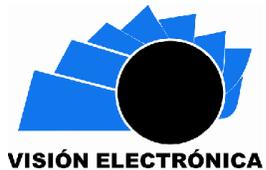


UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## VISIÓN ELECTRÓNICA

Algo más que un estado sólido

<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DOMÓTICO CON ALEXA, Y RASPBERRY PI PARA MONITOREO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A HOME SYSTEM WITH ALEXA, AND RASPBERRY PI FOR MONITORING ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION.

David Santiago Buendía Rincón<sup>1</sup>, Esteban Ricardo Gutiérrez Díaz<sup>2</sup>,  
Frank Nixon Giraldo Ramos<sup>3</sup>

### Resumen

Este artículo presenta el diseño e implementación de un sistema domótico mediante la utilización de Alexa y Raspberry Pi para el monitoreo de consumo de energía eléctrica, el cual se desarrolla mediante la utilización de un medidor de corriente no invasivo STC-013, el cual funciona como un transformador que genera un flujo magnético y a su vez proporciona una corriente eléctrica en el devanado secundario, los datos obtenidos de los valores de corriente se envían y se visualizan a un servidor web creado desde la Raspberry Pi.

El sistema se está visualizando en Node-RED, el cual es una herramienta de programación visual de código abierto, que funciona a través del protocolo MQTT y el bróker llamado

<sup>1</sup>Estudiante de Tecnología en Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Bogotá, Colombia. E-mail: dsbuendiar@correo.udistrital.edu.co

<sup>2</sup>Estudiante de Tecnología en Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Bogotá, Colombia. E-mail: ergutierrezd@correo.udistrital.edu.co

<sup>3</sup>Ingeniero en control electrónico e instrumentación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Maestría en ingeniería de automatización industrial. Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Profesor de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). E-mail: frank\_correo@hotmail.com

MOSQUITO, la estructura que utiliza son los nodos, permite realizar múltiples tareas, recibir una llamada HTTP, un mensaje MQTT o la activación de un sistema de control, que en este caso nos permite crear la visualización y control del sistema domótico mediante Alexa y Raspberry Pi.

**Palabras clave:** Automatización, control, domótica, iluminación, medidor de energía.

### **Abstract:**

This article presents the design and implementation of a home automation system using Alexa and Raspberry Pi for monitoring electrical energy consumption, which is developed through the use of a non-invasive current meter STC-013, which works as a transformer which generates a magnetic flux, which in turn generates an electric current in the secondary winding, the data obtained from the current values is sent and a web server created from the Raspberry Pi is displayed.

The system is being viewed in Node-RED, which is an open source visual programming tool, which works through the MQTT protocol and the broker called MOSQUITO, the structure it uses are the nodes, it allows to perform multiple tasks, receive a HTTP call, an MQTT message or the activation of a control system, which in this case allows us to create the visualization and control of the home automation system through Alexa and Raspberry Pi.

**Keywords:** Automation, control, home automation, lighting, energy meter.

## **1. Introducción**

La revolución tecnológica que ha ido ocurriendo en los últimos años a nivel mundial y la necesidad de buscar alternativas para ahorrar energía eléctrica, ha ido vinculando día a día a

nuevas personas en este mundo de la domótica, ofreciéndole la experiencia de probar otro entorno en sus hogares, el cual busca mediante la recolección de datos de diferentes sensores, procesar esta información y emitir órdenes a unos actuadores que permiten que la forma de vida en las casas sea mucho más fácil, y a su vez ofrecer una gama de soluciones a diferentes problemas en cualquier tipo de vivienda [1].

Además de los sistemas domóticos convencionales, en los últimos años se ha ido incorporando sistemas domóticos con asistentes virtuales como Google Home, HomeKit, y Alexa, los cuales quieren mediante peticiones de voz realizar diferentes acciones de manera inmediata en conjunto con sistemas de control conformados por actuadores, que buscan involucrar primeramente a personas con algún tipo de discapacidad física o visual, así abriendo la posibilidad de que estas personas no estén excluidas en los diferentes avances tecnológicos que ocurren cada día en el mundo y facilitar las tareas comunes del hogar al público en general [2].

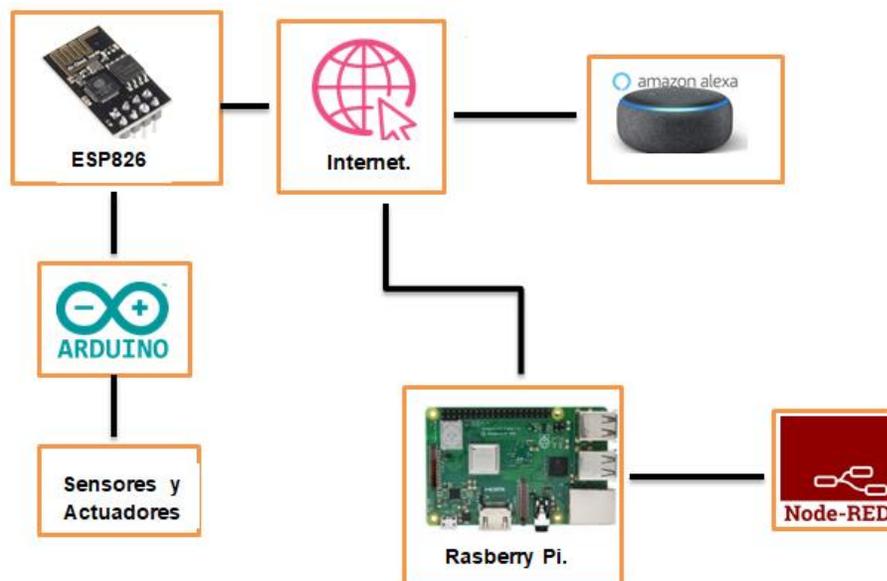
Todos estos cambios que se han hecho siempre han sido enfocados a la sostenibilidad ambiental, a concientizar a las personas en el ahorro de energía, mejorar el confort en los hogares y a facilitar la vida de las personas. Se ha demostrado que utilizar sistemas domóticos efectivamente ha conllevado a reducir los consumos de energía eléctrica en un alto porcentaje. Debido a esto, y como parte del proceso de formación en el pregrado de Tecnología en Electrónica se ha elegido un proyecto que va orientado a implementar todos los aspectos anteriormente mencionados mediante un sistema domótico que va a monitorear el consumo de energía eléctrica de una casa, además de brindar accesibilidad a la hora de prender bombillos y un tomacorriente mediante el asistente de voz Alexa y tener control del sistema domótico mediante un servidor proporcionado por la Raspberry Pi. La cual permite

tener un sistema domótico de gran accesibilidad para cualquier persona, que va permitir concientizar a las personas aún más con el consumo de energía eléctrica, en la **Figura 1** se observa un diagrama de bloques en el cual se identifica como está compuesto el proyecto.

## 2. Metodología.

La siguiente imagen es el diagrama que se propuso para el desarrollo del sistema domótico, se encuentra distribuido de la siguiente forma, como se puede observar en la **Figura 1**.

**Figura 1. Diagrama de bloques del proyecto.**



**Fuente:** elaboración propia.

### 2.1 Internet.

Es un conjunto de redes interconectadas, las cuales utilizan diferentes protocolos de comunicación y en este caso es la que permite realizar todo lo que corresponde con la transferencia de información.

## **2.2 Raspberry Pi.**

Es un ordenador reducido que funciona con Linux, el cual permite realizar distintas tareas, en este caso permite crear un servidor web en el cual se va almacenar la información, visualizar los datos y las modificaciones que se van presentando.

## **2.3 Alexa.**

Es el asistente de voz de Amazon, el cual permite interactuar y realizar diferentes acciones por medio de la voz.

## **2.4 Node-RED.**

Es una herramienta de programación visual de código abierto, la que permite comunicar hardware con servicios de internet, es de gran potencia y muy fácil de usar, en este caso fue donde se desarrolló la aplicación e interfaz del proyecto donde se tiene el control del sistema domótico y se pueden ver los cambios de brillo de los bombillos en tiempo real y los cambios del consumido de energía generado en el hogar.

## **2.5 ESP8266.**

Es un chip integrado con conexión de WIFI, el cual permite la comunicación con el servidor web creado desde la Raspberry Pi, el cual accede a través de una dirección IP que genera esta.

## **2.6 Actuadores.**

Están diseñados para recibir una señal digital del usuario, el cual va permitir controlar la iluminación y el tomacorriente del proyecto a través de la interfaz desarrollada en Node-RED o Alexa.

### 3. Desarrollo.

#### 3.1 Sistema de acondicionamiento del sensor de Corriente.

El sistema de acondicionamiento del sensor de corriente tiene dos etapas, la primera parte es un seguidor de voltaje, y la segunda etapa es un filtro pasa bajo Sallen Key de segundo orden, las etapas se pueden visualizar en la **Figura 2**.

**Figura 2. Diagrama de bloques del sistema de acondicionamiento del medidor.**



**Fuente:** elaboración propia.

#### 3.11 Seguidor de voltaje.

La primera etapa está conformada por un amplificador operacional Lm358 configurado como seguidor de voltaje, el cual se alimenta a 5V, tiene ganancia unitaria y permite acoplar las impedancias que genera la resistencia de carga del medidor de corriente, la resistencia de carga es de  $20 \Omega$ , debido a que el medidor de corriente genera un señal máxima de 50mA cuando en este hay 100 A, a lo cual obtiene una señal AC de 1V.

#### 3.12 Filtro Sallen Key.

Con la señal de voltaje de la primera etapa, esta se pasa por un filtro pasa bajo de 2 orden, para obtener una señal más estable y evitar el ruido que esta genera, el filtro se calcula a partir de una serie de ecuaciones, en la cual utiliza una frecuencia de 70 Hz para eliminar el ruido de la red y una ganancia unitaria.

$$m = \frac{1 + \sqrt{1 + 8Q^2(A-1)}}{4Q} \quad (1)$$

$$R1 = R2 \quad (2)$$

$$RA = \frac{2AR}{A-1} \quad (3)$$

$$RB = 2AR \quad (4)$$

$$C1 = m^2 C2 \quad (5)$$

El cálculo del filtro tiene una ganancia (A), se debe suponer un condensador que en este caso es de 100nF (C2), la frecuencia de corte es de 70Hz, y un Q de 0.7. Después de las operaciones los valores del filtro son: R1 con un valor de 33 KΩ, RB con un valor de 68 KΩ y C1 con un valor de 47nF [3].

### 3.2 Sistema de actuadores para la iluminación.

Los actuadores son controlados de dos maneras diferentes, en primer lugar se controlan mediante una barra deslizante que se encuentra en la interfaz de Node-RED, la cual exporta un valor numérico entre 0 y 255 para controlar la intensidad de los bombillos mediante el ESP8266 que está conectado al Arduino.

La segunda manera de controlar los actuadores sucede a través de Alexa, el asistente virtual de Amazon, el cual suministrando el nombre del bombillo y la intensidad que se requiere, automáticamente regula y actualiza la interfaz de Node-RED, el diagrama de bloques del circuito de control de potencia se puede visualizar en la **Figura 3**.

**Figura 3. Diagrama de bloques del circuito de control de Potencia.**



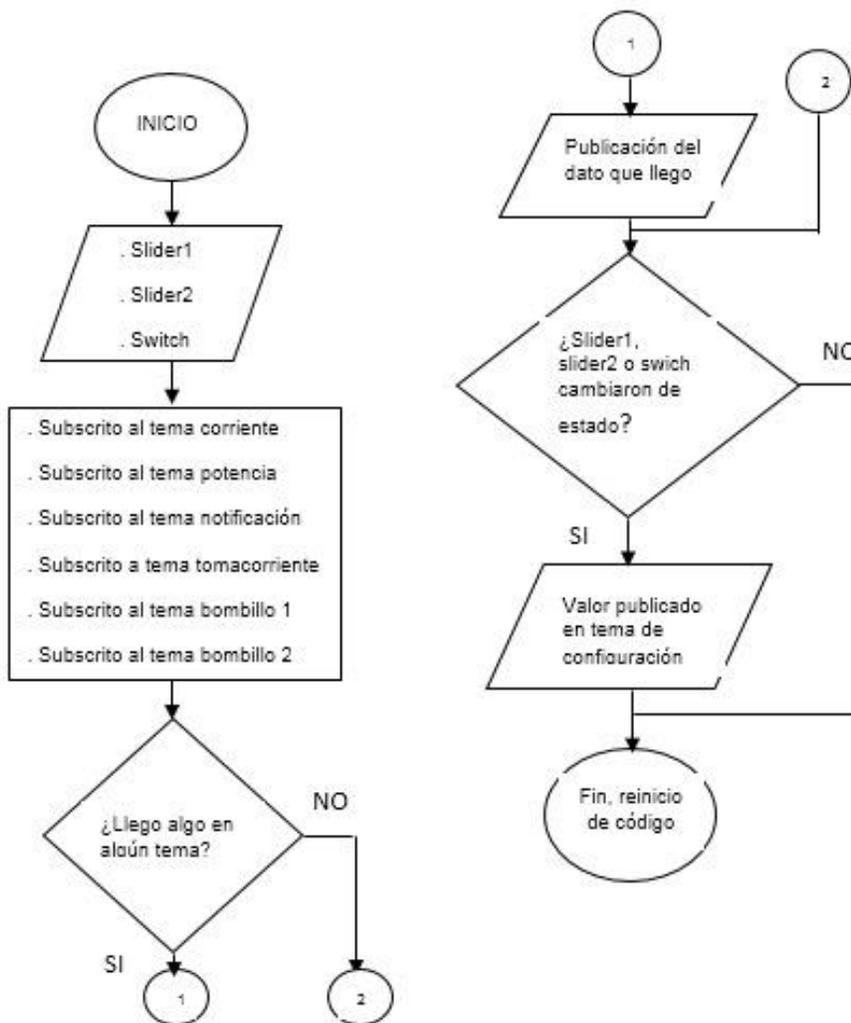
**Fuente:** Elaboración propia.

En la rectificación de voltaje de este circuito se encuentra un transformador de 6V, un puente rectificador DB107, el cual permite rectificar la señal AC del transformador, seguido de este está el cruce por cero que lo conforma un opto-coplador 4N35 el cual cuenta con una resistencia (R1) de  $680 \Omega$  para poder activar este sin que haya riesgo de quemarse, (R2) es una resistencia de alto valor que evita que el diodo que se encuentra en la entrada del 4N35 se queme, a la salida del 4N35 se tiene una (R3) de  $10 K\Omega$ , que está conectada a los 5V del Arduino que se opone al paso de corriente en el momento que no se encuentra el cruce por cero de la señal. Después de que sea escogido un nivel de intensidad por el usuario, es enviada una señal a través del Arduino a los diferentes MOC 3021, los cuales permiten enviar el estado en que se debe encontrar cada bombillo o toma corriente que es accionado, además tienen una resistencia de  $330 \Omega$  la cual garantiza que prenda sin riesgo de quemar a los MOC 3021. Luego están conectados los Triac, que son interruptores de corriente alterna el cual permite controlar el paso de energía mediante un circuito de corte de fase [4].

### 3.3 Diagrama de flujo del código realizado en Node-RED.

En la **Figura 4**, se puede evidenciar el diagrama de flujo del código realizado en Node-RED, el cual da cuenta cómo se desarrolla la aplicación del sistema domótico, el código contiene la parte de recibir, enviar la información acerca del estado de los bombillos y el tomacorriente, además de realizar la interfaz donde muestra los cambios en tiempo real del consumo de energía eléctrica en el hogar y notificando cada día al usuario por medio de la interfaz u correo electrónico sobre su mayor consumo.

**Figura 4. Diagrama de flujo del código desarrollado en Node-RED.**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.4 ESP8266.**

El ESP8266 se comunica a través del puerto serial con el Arduino, al mismo tiempo se conecta a la red WIFI y a la dirección IP que es generada por el servidor WEB creado desde la Raspberry Pi; este es el encargado de estar enviando continuamente los datos sobre el estado del consumo de energía y los estados en que se encuentran los actuadores [6].

## **4. Resultados.**

### **4.1 Interfaz del Medidor.**

En la **Figura 5**, se aprecia la interfaz de la aplicación desarrollada, en la cual se identifica por cada bombillo u tomacorriente una gráfica que demuestra el estado en que se encuentran estos, además se visualiza los slider que son los que permiten realizar la variación de la intensidad, el encendido y apagado de cada uno de ellos. En la **Figura 6**, se aprecia la interfaz vista desde un celular, que demuestra que la aplicación desarrollada para este proyecto es compatible con cualquier dispositivo que tenga conexión a la red local del hogar, el cual accede a través de la dirección IP que genera la Raspberry PI.

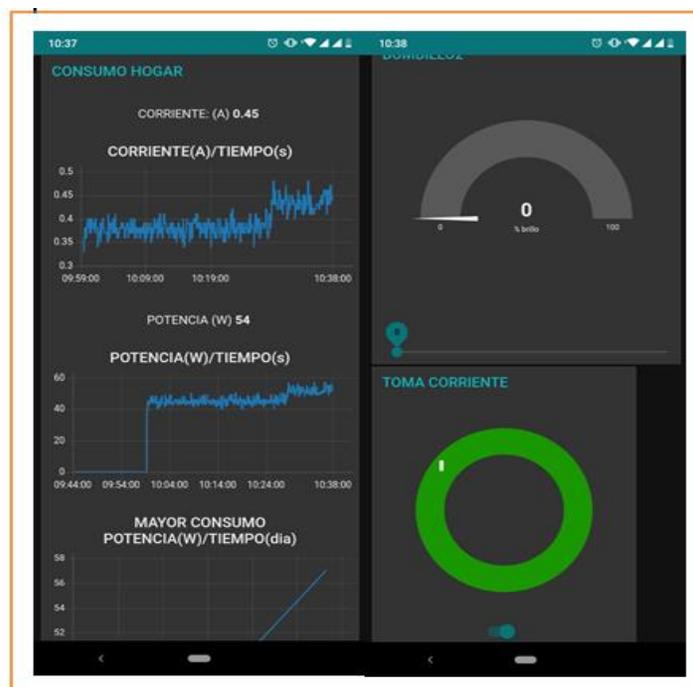
Además tanto en la **Figura 5**, como la **Figura 6**; se visualizan 3 graficas, la primera de ellas indica en tiempo real la información acerca del consumo de corriente en intervalos de tiempo de 5 segundos, la segunda grafica indica el consumo de potencia también en intervalos de 5 segundos, por último en el tercer grafico se obtiene el registro del consumo más alto de energía ocurrido en el día, a su vez mostrando la notificación en la interfaz, la cual también envía una copia al correo electrónico suministrado por el usuario que en este caso es GMAIL, como se observa en la **Figura 11**.

Figura 5. Interfaz de la aplicación vista desde un ordenador.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Interfaz de la aplicación vista desde un celular.



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Control del sistema a través de Alexa.

Una vez se sincroniza el sistema de Alexa y la aplicación desarrollada en Node-RED con el ESP8266, donde se maneja la intensidad de los bombillos y el tomacorriente, automáticamente la aplicación de Alexa los reconoce por el código y nos permite realizar la modificación del estado de los bombillos tanto con la aplicación o con la voz, igualmente los cambios que este ocasiona se ven reflejados en la interfaz de Node-RED en tiempo real, en la **Figura 7**, se puede ver la interfaz suministrada por Amazon Alexa.

**Figura 7. Interfaz de la aplicación Alexa de Amazon.**



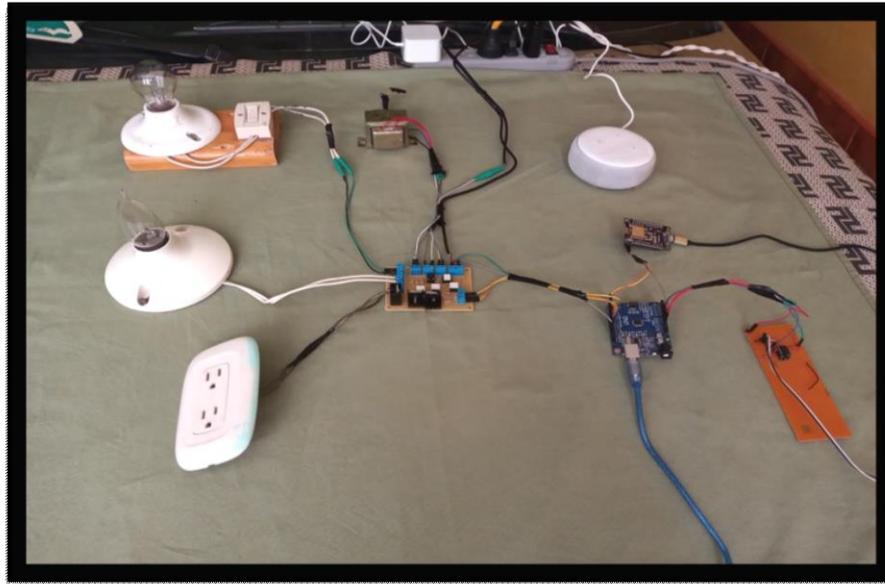
**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.3 Funcionamiento del sistema de iluminación.

El funcionamiento del sistema domótico se compone de dos formas, En **las Figuras 5 y 6**, se observa como mediante la interfaz desarrollada en Node-RED, la cual funciona desde la Raspberry pi, se puede controlar el sistema de iluminación el cual consta de dos bombillos y un tomacorriente, también se aprecia como Alexa interactúa con el sistema y realiza las mismas acciones que proporciona la interfaz, las cuales son encender, apagar y modificar el estado de iluminación de los bombillos. En **la Figura 9**, se observa el sistema de iluminación

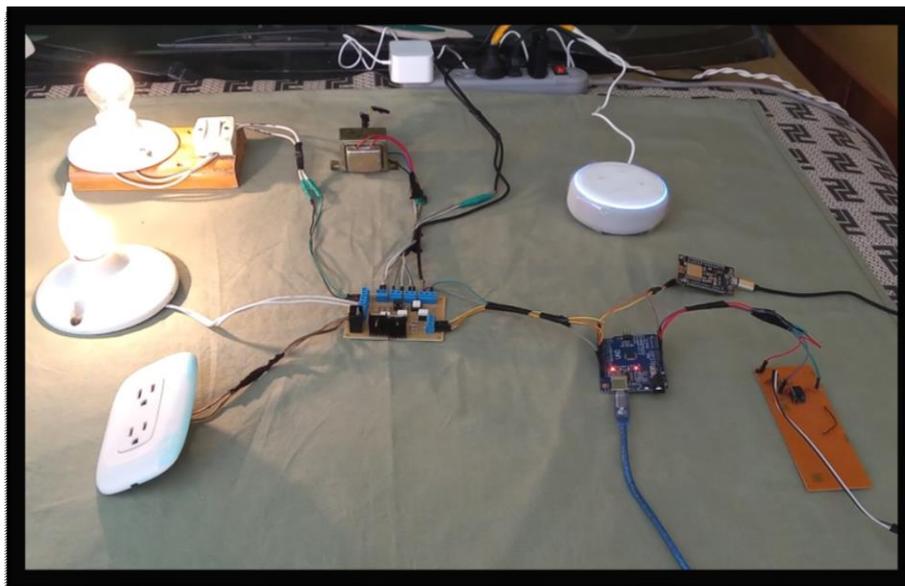
terminado en estado apagado, y en la **Figura 10**, se visualiza el sistema de iluminación encendido.

**Figura 9. Sistema de iluminación apagado.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 10. Sistema de iluminación encendido.**

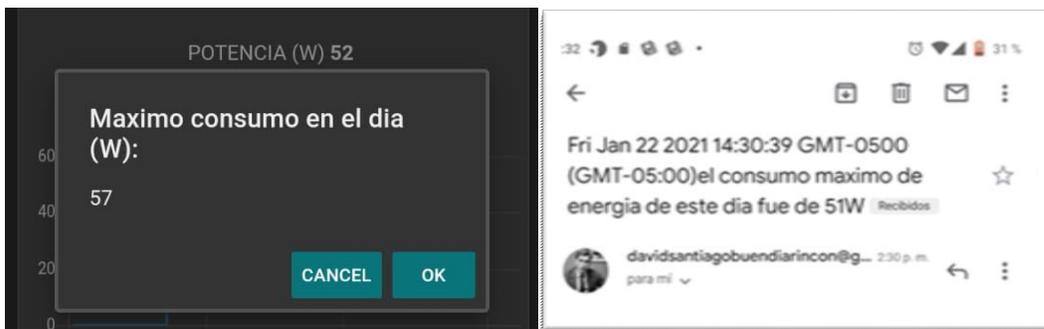


**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.4 Sistema de notificación del mayor consumo de energía en el día.

En la **Figura 11**, se puede evidenciar que cada día el usuario si está conectado a la aplicación del sistema domótico, puede ver la notificación del mayor consumo de energía del día transcurrido, además cada vez que culmina el día el sistema está programado para enviar una notificación al correo electrónico en Gmail, para indicar cuál fue el mayor consumo en el día, con el fin de que el usuario haga una retroalimentación y verifique a que se debió ese consumo de energía.

**Figura 11. Resultado del sistema de notificación.**



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.5 Pruebas realizadas de consumo de corriente y potencia.

##### 4.5.1 Primer prueba.

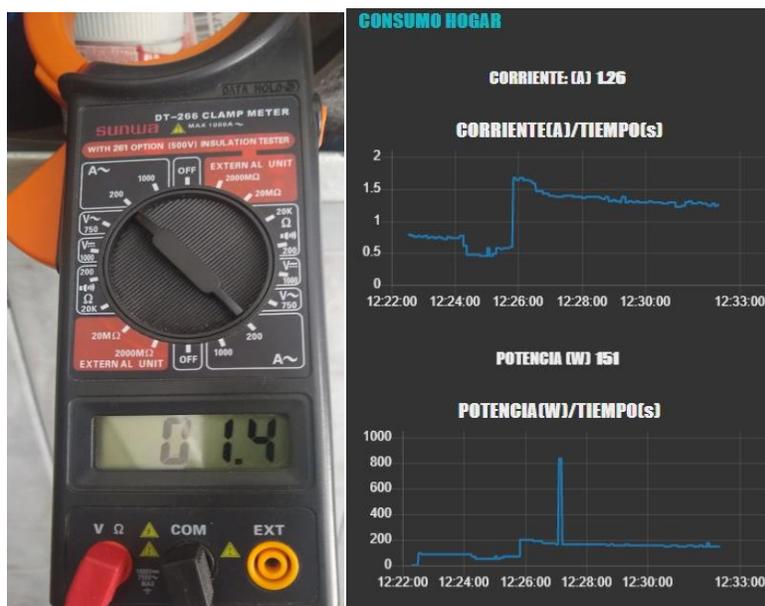
En esta primera prueba realizada solo se encontraban conectados al suministro del hogar los elementos mínimos, como lo eran la nevera, modem, y el sistema de iluminación del proyecto, teóricamente la nevera es la que más consume, tiene un consumo aproximado de 130 a 160 W, basados en el sensor se tuvo un consumo de 151 W con un porcentaje de error del 10%, el cual es muy cercano al consumo de estos electrodomésticos, en conjunto con los otros que solo consumen aproximadamente 30 W, en la **Figura 11**, se nota la comprobación de los datos obtenidos de esta primer prueba, este es el consumo promedio de una casa cuando es de día.

Tabla 1. Primer prueba realizada.

| CONSUMO DE ENERGIA PRUEBA 1 |                         |                              |                                   |         |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Potencia calculada (W)      | Potencia sensor SCT-013 | Corriente sensor SCT-013 (A) | Corriente pinza amperimetrica (A) | % Error |
| 168                         | 151                     | 1,26                         | 1,4                               | 10      |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Comprobación de resultados prueba 1.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2 Segunda prueba.

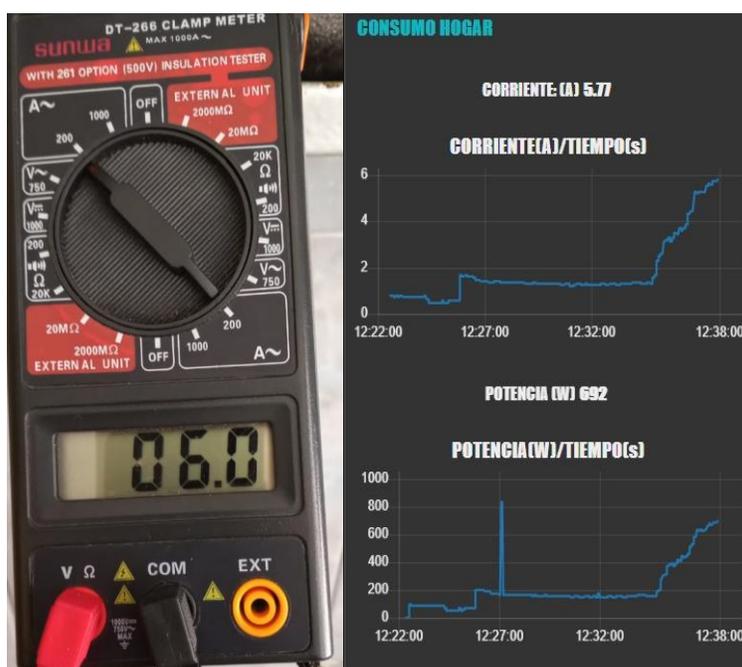
En esta segunda prueba realizada, se encontraban conectados al suministro del hogar la nevera, modem, 3 televisores, 25 bombillos de la casa, teóricamente la nevera tiene un consumo aproximado de 130 a 160 W, un televisor un consumo de 45 a 65 W, cada bombillo tiene un consumo de 10 a 15 W que da aproximadamente un consumo teórico 685 W, basados en el sensor se tuvo un consumo de 692 W, el cual es muy cercano al consumo de estos electrodomésticos, en la **Figura 12**, se nota la comprobación de los datos obtenidos de esta segunda prueba, este es el consumo promedio de una casa cuando es de noche.

**Tabla 2. Segunda prueba realizada.**

| CONSUMO DE ENERGIA PRUEBA 2 |                         |                              |                                   |         |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Potencia calculada (W)      | Potencia sensor SCT-013 | Corriente sensor SCT-013 (A) | Corriente pinza amperimetrica (A) | % Error |
| 720                         | 692                     | 5,77                         | 6                                 | 3,8     |

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12. Comprobación de resultados prueba 2.**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.3 Tercer prueba.

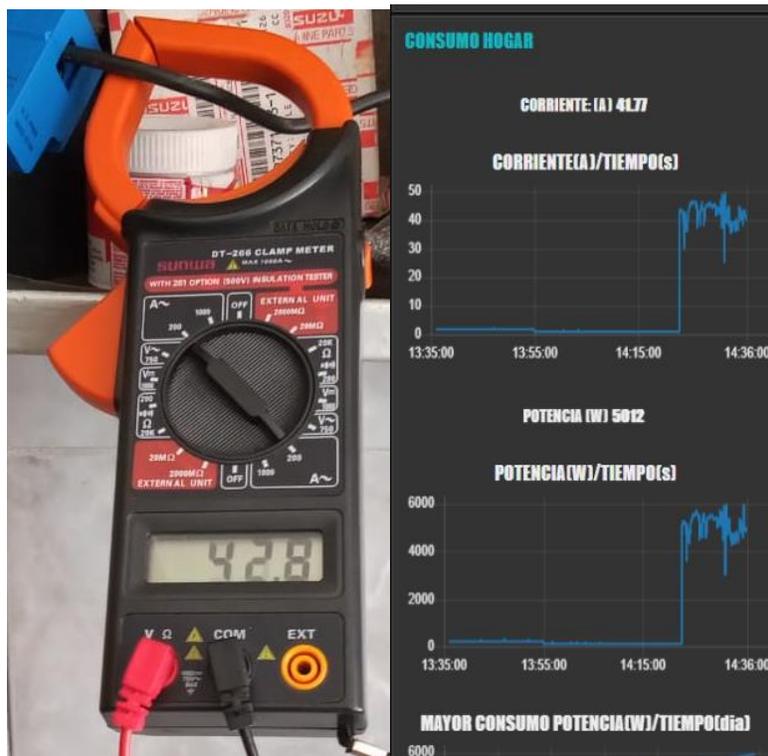
Esta tercer prueba realizada con un consumo promedio cuando es de noche que es aproximadamente 692 W, pero se utilizó la ducha eléctrica que tiene un consumo teórico de 30 a 40 A, es decir 3600 a 4800 W, lo cual da un consumo teórico de 5200 W, el registro suministrado gracias al sensor de corriente fue de 5012 W muy cercano al valor teórico.

Tabla 3. Tercer prueba realizada.

| CONSUMO DE ENERGIA PRUEBA 3 |                         |                              |                                   |         |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Potencia calculada (W)      | Potencia sensor SCT-013 | Corriente sensor SCT-013 (A) | Corriente pinza amperimetrica (A) | % Error |
| 5136                        | 5012                    | 41,77                        | 42,8                              | 2,4     |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Comprobación de resultados prueba 3.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.4 Cuarta prueba.

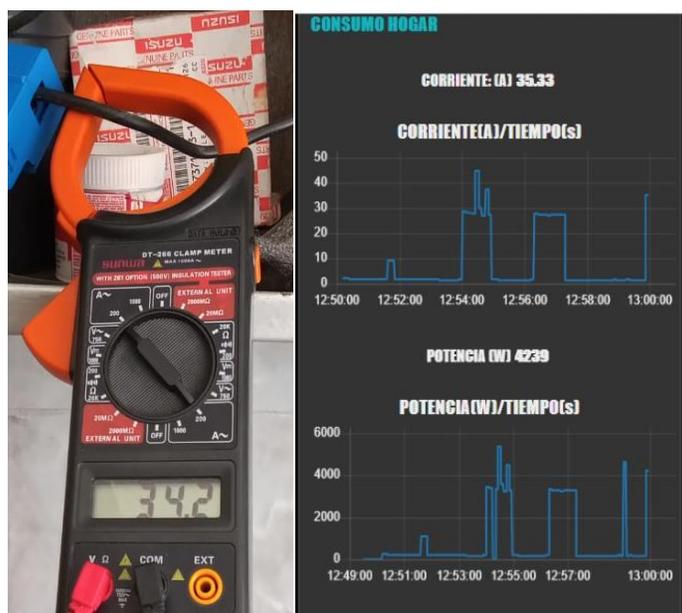
Esta cuarta prueba realizada con un consumo promedio cuando es de día que es aproximadamente 168 W, pero se utilizó la ducha eléctrica que tiene un consumo teórico de 30 a 40 A, es decir 3600 a 4800 W, lo cual da un consumo teórico de 4368 W, el registro suministrado gracias al sensor de corriente fue de 4239 W muy cercano al valor teórico.

Tabla 4. Cuarta prueba realizada.

| CONSUMO DE ENERGIA PRUEBA 4 |                         |                              |                                   |         |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Potencia calculada (W)      | Potencia sensor SCT-013 | Corriente sensor SCT-013 (A) | Corriente pinza amperimetrica (A) | % Error |
| 4104                        | 4239                    | 35,33                        | 34,2                              | 3,3     |

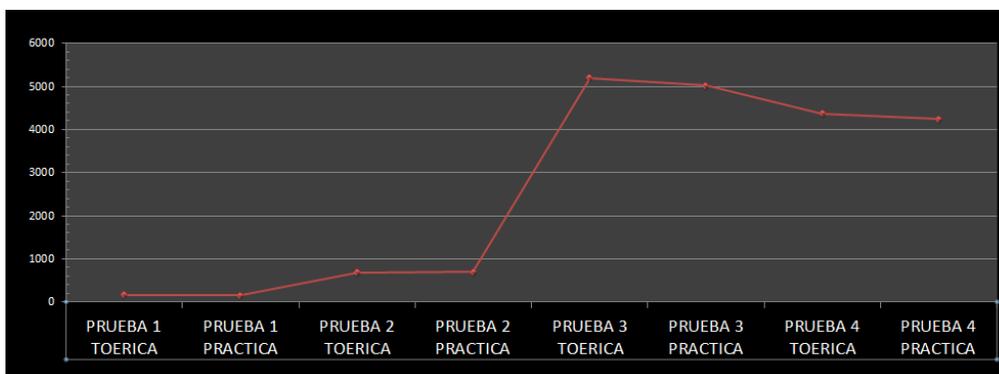
Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Comprobación de resultados prueba 4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Grafica consumo de energía teórico y práctico de las diferentes pruebas.



Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

En base a las diferentes pruebas que se obtuvieron en el desarrollo de este proyecto, se evidencia que los mayores consumos de energía ocasionados en los hogares son en la noche. La implementación de bombillos regulables es importante para tener mejor control del consumo de energía eléctrica.

La utilización de asistentes virtuales en los sistemas domóticos ha sido de gran ayuda para volver estos sistemas inclusivos para personas con alguna discapacidad y proporciona un entorno más amigable con el sistema domótico.

El sensor SCT-013 que se implementó para medir el consumo de energía en la casa, permite que sea accesible económicamente para cualquier persona, además está diseñado para que su instalación sea sencilla y no altere el funcionamiento de la red de energía eléctrica de la casa; ayuda a mirar las variaciones de corriente y de potencia de una forma confiable.

Las últimas tecnologías que se han adelantado enfocadas al desarrollo de software, han permitido crear interfaces amigables con el usuario final, por lo cual la interfaz del proyecto se realizó en Node-RED, el cual proporciona un entorno fácil y rápido para el control del sistema domótico.

Debido a las múltiples tareas que tenía el sistema domótico, en ocasiones presentaba inconvenientes el ESP-8266 y el aplicativo web, lo que llevo a investigar diferentes métodos para corregir este problema, con lo cual se generó un retardo en él envío de datos, que conllevo a que ni el ESP-8266, ni el aplicativo web se saturen.

## Reconocimientos

En este proyecto de Tecnología que se culminó, quisiéramos darle las gracias primero que todo a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por darnos la oportunidad de ingresar a este programa para aprender, desarrollar y aplicar todo el conocimiento que estamos aplicando para este proyecto, también agradecerle a nuestras familias que siempre estuvieron pendientes y apoyándonos en todo lo que necesitábamos, y por ultimo agradecerle a nuestro tutor al profesor Frank Giraldo por estar pendiente y apoyarnos cuando fue requerido, gracias.

## Referencias

- [1] O. Corporativas, D. Edificio, and T. Begonias, "FACULTAD DEF INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y DE POTENCIA "DISEÑO DE ILUMINACIÓN LED CON CONTROL DOMOTICO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN LAS," Universidad Tecnológica del Perú, 2019.
- [2] S. H Baria, et al., "Personal and Intelligent Home Assistant to Control Devices Using Raspberry Pi," *Int. J. Comput. Digit. Syst.*, vol. 6, no. 4, pp. 213–220, Jul. 2017.
- [3] "Filtro Pasa bajos Activo de 2do Orden Sallen Key." [Online]. Available: <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-bajos-activo-de-2do-orden-sallen-key.html>. [Accessed: 13-Jan-2021].
- [4] M. H. Rashid, "ELECTRONICA DE POTENCIA," 2003. [Online]. Available: <https://riverraid17.files.wordpress.com/2010/03/electronica-de-potencia-rashid-espanol.pdf>. [Accessed: 11-Jan-2021].
- [5] "Node-RED." [Online]. Available: <https://nodered.org/>. [Accessed: 13-Jan-2021].
- [6] "Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi." [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Accessed: 13-Jan-2021].
- [7] B. González, J. Herazo, and E. Samaniego González, "Construcción e implementación de un sistema domótico para el monitoreo del consumo eléctrico vía web mediante una aplicación Android y la tecnología Raspberry Construction and implementation of a domotic system for the web monitoring of electric consumpti," *Rev. Iniciación Científica J. Undergrad. Res.*, vol. 3, 2017.
- [8] W. A. Sanchez Mendoza, J. E. Mican Palacios, and F. N. Giraldo Ramos, "Prototipo de Automatización Domótica del Sistema de Iluminación de una Casa Mediante Comunicaciones Via Internet.," *Univ. Dist. Fr. Jose Caldas*, p. 28, 2015.