

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS PARA
MONITOREAR EL CONSUMO ENERGÉTICO POR
MEDIO DE UN APLICATIVO MÓVIL**

**DAVID ALEXANDER ORTIZ RANGEL
CRISTIAN CAMILO VELA MERCHÁN**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2018**



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS PARA MONITOREAR EL CONSUMO ENERGÉTICO POR MEDIO DE UN APLICATIVO MÓVIL

**DAVID ALEXANDER ORTIZ RANGEL
CRISTIAN CAMILO VELA MERCHÁN**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Director: EDUARD GALVIS RESTREPO, PhD

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

Dedicado a nuestras familias por todo su apoyo, a los profesores por compartir con nosotros su conocimiento y su sabiduría, y a nuestros compañeros por haber hecho parte de este proceso...

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos permitido cursar esta carrera y culminar este proyecto de grado.

También a nuestro tutor, el ingeniero Eduard Galvis, por su paciencia, persistencia, motivación, dedicación y criterio en el desarrollo de este proyecto de tesis. Ha sido un privilegio poder contar con su ayuda y su guía.

A nuestros compañeros y amigos que estuvieron siempre presentes en esta etapa, quienes sin esperar nada a cambio nos robaron horas de compañía, conocimiento, alegrías y tristezas. Nombrarlos a todos sería extenso, y olvidar a uno es cometer un acto injusto, por ello, a todos ellos ¡infinitas gracias!

A nuestros padres, hermanos y personas más cercanas, quienes estuvieron siempre presente entregando su amor, su devoción y su apoyo cada día en este proceso, quienes nunca dejaron de creer que esto fuese posible hasta el último día. A todos ellos, por esto y por lo que se viene, ¡gracias!

Por último, agradecemos a la Universidad Santo Tomás y a la Facultad de Ingeniería Electrónica, que con sus docentes lograron pulir nuestros conocimientos y facultades con sus prácticas y métodos de enseñanza, para realizar de manera satisfactoria este proyecto de grado.

¡Mil gracias por todo!

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2.1 Problema.....	9
2.2 Justificación.....	10
2.3 Antecedentes.....	10
2.4 Impacto social.....	12
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo general.....	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4. MARCO TEÓRICO.....	15
4.1 Problemática de consumo excesivo de energía eléctrica en Colombia.....	15
4.2 Tarjeta de desarrollo Raspberry PI.....	15
5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	17
5.1 Indicadores de consumo de energía eléctrica en Colombia.....	17
5.2 Dinámica del sistema de control para un dispositivo eléctrico.....	18
5.3 Diseño del circuito electrónico como medio de control para un dispositivo eléctrico o electrónico.....	19
5.3.1 Diseño de la tarjeta electrónica.....	20
5.4 Medición de energía eléctrica basado en microprocesadores.....	22
5.4.1 Instalación de librerías de la tarjeta de desarrollo Raspberry.....	22
5.4.2 Plataforma de código abierto como aplicación del Internet de las cosas	22
5.4.3 Programación en lenguaje Python.....	23
5.5 Diseño y programación del aplicativo móvil.....	28
5.5.1 Plataforma de almacenamiento de datos virtual.....	28
5.5.2 Programación en bloques del aplicativo móvil.....	29
5.5.3 Entornos de simulación para la elaboración del aplicativo móvil.....	37
6. RESULTADOS Y ANALISIS.....	41
6.1 Implementación del aplicativo móvil.....	41
6.2 Implementación del sistema de medición y control de energía eléctrica para dispositivos eléctricos.....	47
7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	51
7.1 Conclusiones.....	51
7.2 Trabajos futuros.....	52

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
8. ANEXOS	58
8.1 Anexo 1	58
8.2 Anexo 2	60

RESUMEN

Hoy en día, la tecnología digital ofrece amplias posibilidades para desarrollar y enriquecer los campos de aprendizaje en todas las áreas de conocimiento. La evolución de esta, de forma exponencial, permite el desarrollo de proyectos significativos como formas de solución ante problemáticas ambientales, sociales y económicas, entre otros. De igual modo, el uso constante de la tecnología las convierte en un poderoso instrumento para promover la educación en un modo mucho más inclusivo en todo el mundo.

Políticas ecológicas impuestas por los diferentes gobiernos, nuevas normas de fabricación de electrodomésticos y dispositivos eléctricos con etiquetas de energía eficiente, son algunas de las soluciones llevadas a cabo en la última década para atacar la problemática de consumo excesivo de energía eléctrica. Aun así, la innovación de dispositivos inteligentes y la demanda de uso de estos han opacado el desarrollo de soluciones en pro a esta problemática, lo que finalmente no ha generado en un verdadero impacto de ahorro en este recurso.

Por eso, para ayudar a contrarrestar la problemática de consumo de energía eléctrica, se diseñó en este proyecto de tesis, basado en el internet de las cosas, un sistema para controlar de manera remota y directa el suministro de energía en dispositivos eléctricos y electrónicos a través de un aplicativo móvil. El diseño del circuito electrónico y el aplicativo se realizaron en base a un modelo sencillo de implementación óptimo para uso de todos.

Palabras claves: Internet de las cosas, consumo de energía eléctrica, control sobre dispositivos eléctricos y electrónicos, microprocesadores, medición de potencia eléctrica, aplicativo móvil, tarjeta de desarrollo.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las políticas ecológicas que se han implementado por las industrias fabricantes de los diferentes electrodomésticos en la última década ha sido la de ofrecer productos con la etiqueta de consumo eficiente. [39] Esto ha contribuido a un gran porcentaje de reducción de consumo de energía eléctrica en los hogares. Aun así, el desarrollo en pro de la eficiencia energética se ha visto opacado por el crecimiento en la cantidad de equipos electrónicos y la implementación de programas y aplicaciones que requieren de un constante uso, tanto así que la dependencia por estos bienes crece de manera exponencial. En pocas palabras, se sigue presentando el aumentando de consumo energético en una época en donde los recursos de energía eléctrica son cada vez más escasos.

En vista de que la problemática de consumo de energía eléctrica parece acrecentarse cada vez más, la investigación ambiental ha redirigido su curso y ahora apunta a métodos de generación de energía más amigables con el medio ambiente, sobre todo las renovables, proyectadas a nivel mundial. Pero no sería lógico no hacer uso de las herramientas que han proporcionado el avance de la tecnología, como el internet. La conectividad a través de este medio en ordenadores, teléfonos inteligentes, y hasta incluso electrodomésticos y otros dispositivos, son ahora los recursos donde la información sobreabunda, y ¿Por qué no usar este medio para contribuir con la disminución del derroche de energía?

El desarrollo de este proyecto tuvo como objetivo principal ayudar a la disminución del consumo de energía eléctrica implementando un sistema electrónico y tecnológico que realiza la medición de potencia eléctrica y el control On-Off sobre los dispositivos eléctricos y electrónicos en el hogar, oficina o negocio, permitiéndole al usuario tomar decisiones sobre los mismos. Para ello, es necesario diseñar un circuito electrónico que actúe como medidor de potencia eléctrica sobre los dispositivos, indicando cada uno de sus componentes y las características de uso del mismo. Posterior a ello, se efectúa el código de programación sobre una tarjeta de desarrollo basado en microprocesadores, para realizar las tareas de lectura y escritura de parámetros eléctricos y permitir la conexión con una plataforma web que almacene datos en una nube digital. Por último, se realiza el diseño de un aplicativo móvil detallando su implementación, con el objetivo de visualizar los índices de consumo de energía de cada uno de los electrodomésticos para así, realizar la tarea de control del dispositivo en uso.

La composición de este documento se encuentra distribuido en 8 capítulos que respalda la secuencia de desarrollo expresada en el párrafo anterior.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los hábitos de consumo que existen en la actualidad han fomentado una problemática que afecta la disponibilidad de recursos de diferentes tipos. Uno de ellos se evidencia en el alto consumo de energía eléctrica de los sectores residencial, industrial, comercial, etc. Es habitual encontrar en todo tipo de espacio dispositivos eléctricos conectados que no se encuentren en funcionamiento, por lo que el usuario considera que su consumo es nulo. Estos comúnmente se conocen como “vampiros eléctricos” [38]. También es común el hábito de dejar dispositivos eléctricos y electrónicos en funcionamiento aun cuando ningún usuario esté haciendo uso del mismo. Esto contribuye al aumento del consumo, por lo cual su control se vuelve una prioridad en la búsqueda de la eficiencia energética.

2.1 Problema

En la actualidad se están evidenciando los efectos causados por el cambio climático debido a años de explotación indiscriminada de los recursos naturales. El surgimiento de la energía eléctrica y el uso de combustibles fósiles trajo consigo un gran impacto a nivel ambiental, cuyos efectos se están presentando en la actualidad, y han sido casi nulas e improductivas las pocas medidas tomadas por los diferentes gobiernos con el fin de contrarrestar este gran problema.

El ejemplo más claro y fácil de visualizar es el consumo de recursos a nivel residencial, las ciudades cada vez son más grandes, albergando una población que crece de forma exponencial y consigo la demanda de recursos de todo tipo. Las luminarias con las que cuenta todo hogar, además de los electrodomésticos más comunes, hacen que el consumo de energía eléctrica se dispare y al visualizarlo desde un punto de vista general, se puede observar el verdadero tamaño de esta problemática y el impacto que genera en el consumo a nivel nacional y mundial.

Actualmente se ven campañas lideradas a nivel mundial por revistas y artículos científicos (por ejemplo Discovery Channel, Science [28] y National Geographic [24]), organizaciones ambientalistas como Greenpeace [23] y Sure; campañas publicitarias lideradas por redes sociales como Facebook [25], Twitter, YouTube, etc.; e instituciones gubernamentales [8] que están en contra del uso excesivo de energía, invitando a la comunidad a suspender el uso de ésta por una o dos horas, a utilizar bombillos ahorradores, a aprovechar al máximo la luz natural, y así mismo adquirir electrodomésticos que tengan etiquetas de eficiencia energética, etc. Lamentablemente, estas campañas han sido esporádicas, por lo que no han representado un verdadero impacto en la optimización del consumo de energía eléctrica a nivel global, y con el auge de la tecnología de punta el consumo de ésta cada vez es mayor.

2.2 Justificación

El Internet de las cosas (en inglés Internet of Things – IoT) marca una pauta de desarrollo tecnológico a nivel mundial impulsando la innovación y la eficiencia en las áreas de economía, educación, energía, gobierno, salud, manufactura de equipos, entre otros. [19] Propósitos como cambiar la manera de comunicar al ciudadano con los entes públicos y privados del gobierno [27], aumentar la seguridad en la educación y permitir un mejor diseño de infraestructura para los entornos educativos con programas de desarrollo tecnológico (como por ejemplo el Cisco Digital Network Architecture o DNA) [28]; una evolución a la manufactura inteligente para mejorar los sectores automotriz, de envases, minería y ciencias biológicas con un plan de mejoramiento en las áreas de automatización, colaboración y conectividad [29]; y el fomento de ciudades inteligentes para buscar soluciones en temas de salud, servicios públicos, seguridad y desarrollo rural y urbano [30], son algunos que traería consigo la evolución de la tecnología en su interés de conectar todos los objetos con los que usualmente se interactúa a diario, volviendo más global y útil el uso de la tecnología digital. La propuesta de desarrollo e implementación de este sistema de control mediante un aplicativo móvil planteado en este proyecto de tesis, busca orientar e implementar la temática del Internet de las Cosas.

Con el fin de contribuir a la disminución del consumo de energía eléctrica en recintos cerrados, se diseñó e implementó un aplicativo móvil que contribuye al uso inteligente de los recursos eléctricos, al darle al usuario la capacidad de hacer el encendido o apagado de las cargas conectadas al sistema basado en información del consumo actual provista por el aplicativo, logrando censar el consumo excesivo del dispositivo en uso en tiempo real y logrando minimizar el impacto del consumo eléctrico del mismo.

A través de registros de información almacenados en la nube mediante un servidor web, el desarrollo del sistema de control implementado en este proyecto junto con el aplicativo móvil, están orientados a controlar los derroches de energía eléctrica deshabilitando dispositivos eléctricos y electrónicos que están conectados a los puntos o enchufes de corriente. Se pretende que la infraestructura básica de conexión del dispositivo y la herramienta de uso sean de bajo costo.

La demanda energética a nivel Colombia, independientemente del estrato en el sector residencial, industrial y comercial, crece de manera significativa y con ello las emisiones de dióxido de carbono. El propósito de su diseño es ser un sistema que pretenda mejorar el sector económico en las viviendas y también reducir a su mínima radiación los gases contaminantes.

2.3 Antecedentes

El incremento en un 30% del dióxido de carbono en los últimos 50 años y los efectos catastróficos producidos en las diferentes regiones del mundo [26], han obligado a los gobiernos de los distintos países a implementar normas y leyes en busca de regular el

consumo de energías no renovables, entre ellas la energía eléctrica. Países como España que regulan la producción de este recurso a partir de aerogeneradores que son fuente de energía renovable como la energía eólica; Chile que, a través de altas tarifas de energía eléctrica, logran estimular el consumo de la misma mediante la obtención por energías geotérmicas; o Estados Unidos, que a través de celdas fotovoltaicas producen energía capaz de abastecer comunidades enteras, son algunos de estos ejemplos. Todos los gobiernos se ven en la obligación de implementar soluciones en contra de la producción de energía mediante fuentes no renovables, y Colombia no es la excepción. Mediante la ley 1715 de 2014, se tiene como propósito promover la implementación y desarrollo de soluciones para utilizar recursos no convencionales en la búsqueda de producir energía eléctrica limpia [34]. Colombia, al tener una distribución geográfica variada, posibilita la implementación de diferentes soluciones energéticas.

Una solución, que desde los años 80 se ha venido implementando en el sector doméstico, ha sido el “Smart Home” o Vivienda Inteligente, fomentando el propósito de la implementación de este proyecto de tesis que también va orientado hacia el mismo sector. El Smart Home es la unión de tecnologías de desarrollo basados en el control y la automatización de los dispositivos eléctricos o electrónicos de una vivienda mediante comunicación inalámbrica. Su objetivo es recolectar información mediante sensores electrónicos, procesar los datos y emitir órdenes mediante actuadores que hacen el control sobre el dispositivo. Teniendo en cuenta el desarrollo del Internet de las Cosas que en los últimos años se está implementando en las distintas regiones del mundo, se presenta estudios del Smart Home como una solución en el futuro en pro a las viviendas comunes utilizando esta plataforma de desarrollo [2] [4], realizando mediciones de cobertura de conexión del dispositivo móvil o puntos de acceso inalámbricos con los electrodomésticos, mediante anchos de banda [3].

Bajo el marco de soluciones de sistemas de interconexión de dispositivos de comunicación con los electrodomésticos, se presenta otro estudio de parámetros de conexión asociados a la arquitectura Smart Grid (o Red Eléctrica Inteligente). [5] La norma IEEE 802.11 permite la transmisión de datos para este estudio en 3 diferentes anchos de banda, estableciendo los parámetros de conexión por red inalámbrica y generando reportes de los parámetros asociados a los índices de consumo de energía eléctrica [6].

Uno de los trabajos de investigación y desarrollo respecto a la estimación de indicadores de consumo de energía eléctrica, se presentó como implementación de una aplicación móvil para sistemas operativos Android que lograra medir en tiempo real el consumo de energía eléctrica en las viviendas [7], realizando monitoreo de variables y parámetros eléctricos asociados al sistema de consumo, como por ejemplo, tensiones y corrientes de fase, y armónicos, esto con el fin de crear conciencia en la comunidad sobre el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en el sector doméstico y llevar a cabo una evaluación de sostenibilidad, problema que se encara en este proyecto de tesis.

2.4 Impacto social

El medio ambiente y la relación del ser humano con el mismo es un tema crucial en la actualidad, el calentamiento global y el agotamiento de los recursos naturales tienen en vilo el futuro de la humanidad y la viabilidad de nuestra raza. Por mucho tiempo se hizo uso de los recursos naturales sin tener en cuenta que son limitados y que la regeneración de los mismos tarda siglos. La revolución industrial del siglo XIX trajo consigo la aparición de nuevos recursos que en el transcurso del tiempo se han vuelto fundamentales en la forma de vida del ser humano. La energía eléctrica es uno de estos recursos, y es difícil pensar que en la actualidad algo funcione sin electricidad.

El ser humano siempre ha obtenido lo que desea o necesita sin tener en cuenta las consecuencias que eso implica. Durante gran parte del siglo XX, la generación de energía eléctrica provino de fuentes no renovables como el carbón, petróleo, biomasa y gas natural. Otro recurso que tuvo un gran auge fue la energía nuclear, la cual ha provocado grandes daños a la naturaleza; fue hasta finales de este siglo y comienzos del siglo XXI donde las consecuencias del uso indiscriminado de estas fuentes tuvieron efectos desastrosos en el medio ambiente. Sin embargo, es difícil tratar de cambiar de la noche a la mañana un sistema que lleva en funcionamiento más de un siglo. La transición a fuentes de energías renovables y limpias ha sido lenta, por lo que se ha visto necesario atacar este problema desde diferentes sectores.

Los gobiernos, a través de sus Ministerios de Minas y Energía, y con la colaboración de inversión privada, promueven el desarrollo y aplicación de sistemas de generación de energías a partir de recursos renovables como la energía solar, eólica, cinética, entre otras; también se promueve el desarrollo en pro de la eficiencia de los dispositivos que consumen energía eléctrica, principalmente electrodomésticos y equipos industriales. Pero estos esfuerzos son en vano si no hay un cambio en la forma en que se consume la energía eléctrica, ya que el derroche de ella es común en todo el mundo. Según un informe de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), en Colombia los sectores industriales, residenciales, comerciales, de la salud y el público derrochan 6000 GWh al año, un equivalente al 10% de la generación eléctrica del país, lo mismo que genera la Hidroeléctrica de Guavio, o en términos económicos, aproximadamente 3,96 billones de pesos. [21]

El objetivo del proyecto del sistema de control para dispositivos eléctricos o electrónicos basado en el Internet de las Cosas mediante el uso de un aplicativo móvil, es servir de apoyo a cada uno de los usuarios otorgándole herramientas que, en trabajo conjunto con las facilidades de conectividad que ofrecen las tecnologías de comunicación, permiten tener información detallada sobre el consumo energético de su residencia, además de la posibilidad de tomar acciones de forma remota que ayuden a reducir el consumo. La finalidad de las acciones realizadas por medio del sistema es reducir el consumo energético generando una disminución en el precio de la factura del usuario, a su vez contribuir significativamente en la disminución del derroche de energía y, si cabe la posibilidad de

unificar a una comunidad en el uso de este proyecto, también se lograría un impacto a nivel ambiental.

3. OBJETIVOS

De acuerdo al problema elucido y con el fin de llevar a cabo el desarrollo de este trabajo de grado de manera congruente, se plantean los siguientes objetivos.

3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema basado en el internet de las cosas mediante el uso de un microprocesador para fomentar las buenas prácticas al consumo de un recinto cerrado por medio de un aplicativo móvil.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar del estado del arte y el marco teórico, el contexto del proyecto y conceptualizar el índice de consumo de potencia eléctrica de un recinto cerrado con base a desarrollar una tabla de datos real para el aplicativo móvil.
- Diseñar una aplicación móvil para el sistema operativo Android que permita la visualización de algunos parámetros eléctricos relacionados con el consumo de energía eléctrica de un recinto cerrado.
- Disponer de recursos que permitan la medición de la corriente eléctrica y así mismo disponer de un sistema de control On-Off para las salidas relacionadas con el consumo de potencia eléctrica.
- Implementar un sistema basado en internet de las cosas empleando una tarjeta de desarrollo basado en microprocesador que permita al usuario verificar de forma clara y sencilla algunos datos de consumo eléctrico. El sistema planteado busca favorecer el uso racional e inteligente de la energía eléctrica.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Problemática de consumo excesivo de energía eléctrica en Colombia

De todos los sectores, el que mayor impacto genera al consumo de energía eléctrica en Colombia es el residencial (ver Anexo 1, figura 4). [40] La gran cantidad de dispositivos y elementos que aportan al consumo de energía eléctrica hacen que el control sobre el mismo por parte de entidades reguladoras y prestadoras del servicio sea bastante complicado. Muchas propuestas respecto a este tema han sido planteadas, medición inteligente y tarifa del KWh en función de la demanda por nombrar algunas, y en cuyos temas es donde más carecen viabilidad en un futuro cercano y facilidad en la implementación, buscando soluciones a corto plazo. Una iniciativa internacional en la que se encuentran múltiples entidades gubernamentales, el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) en el caso de Colombia, es la de categorizar productos que usan energía eléctrica y gas combustible [35] a su eficiencia energética, esto con el fin de incentivar a los usuarios a adquirir aquellos que tienen mejor calificación con el fin de contribuir al uso racional y eficiente de los recursos energéticos, asunto de interés nacional según lo establece la Ley 1715 de 2014. [34]

La creación de regulaciones y leyes cuyo fin es disminuir el consumo energético tiene una razón de ser, el impacto medioambiental que producen los métodos más comunes de generación de energía en conjunto con la creciente preocupación por el cambio climático y las consecuencias que el mismo conlleva, ha generado una preocupación a nivel global, tanto así que el gobierno ha decidido intervenir ya sea por presión social o porque de verdad ve una amenaza en el cambio ambiental. [36] Sin embargo, al igual que sucede con muchos de los problemas que afronta el país, tanto su origen como su solución puede estar en la educación. La educación energética no ha tenido un papel importante en el ámbito de formación escolar, probablemente debido a que Colombia siempre ha sido privilegiada con abundantes recursos naturales y energéticos, y la amenaza de una recesión energética se ve como una idea utópica.

Para atender a la urgencia del consumo excesivo de energía eléctrica es necesario tener y crear conciencia de ahorrar energía eléctrica para prevenir futuros daños medioambientales. La noción de ahorro de energía tomó fuerza luego de la crisis internacional del petróleo, que comenzó en 1973. A partir de este hecho, se entendió que los recursos energéticos no se podían seguir desperdiciando debido a que no son renovables, y a raíz de este razonamiento surgió la idea de una producción limpia implementando el control de las emisiones y disminuyendo los costos de producción.

4.2 Tarjeta de desarrollo Raspberry PI

Las tarjetas de desarrollo **Raspberry** son tarjetas desarrolladas por la fundación Raspberry PI con el objetivo de apoyar programas de educación en ciencias de la computación. Un

ejemplo de ellas es la **Raspberry PI 3** que, a diferencia de otras tarjetas de Raspberry, posee 4 puertos USB para conectar periféricos de control o de expansión de memoria, salida de audio de 3.5 mm, puerto RJ45 para conexión Ethernet, Wifi, Bluetooth y slot de memoria MicroSD. [32] Otro ejemplo de ellas es la **Raspberry PI Zero W**, que siendo mucho más pequeña que la PI 3, su diferencia con este último es que no posee la misma cantidad de puertos. Sin embargo, tiene incorporado un slot micro USB que permite la conexión de teclado y mouse, y módulos de conectividad como Wifi y Bluetooth. [22] Una característica que comparten ambas tarjetas es el slot MicroSD como medio de almacenamiento y un puerto HDMI o mini HDMI. Desde la MicroSD se realiza la instalación de la imagen del Raspbian, sistema operativo de la tarjeta Raspberry, y una vez instalada, la tarjeta MicroSD se desempeñará como medio de almacenamiento de la tarjeta. [31]

El puerto HDMI o mini HDMI ofrece acceso a la interfaz gráfica del sistema operativo instalado, donde se observan funcionalidades similares a las de un computador portátil, obviamente con capacidades mucho más limitadas, sobre todo en la Raspberry PI Zero. Sin embargo, ambas tarjetas manejan el navegador básico Chromium, el Terminal (bastante similar al CMD de Windows), herramientas de programación como Python o Wólffram, y hasta juegos gráficos e interactivos como Minecraft.

Para la realización de este proyecto de tesis se escogió como herramienta de programación el lenguaje **Python**, ya que ofrece un gran respaldo de información y documentación en temas como librerías, ejemplos y programas ya desarrollados que también se han venido usando ampliamente en la realización de múltiples proyectos enfocados al internet de las cosas. Al ser un lenguaje de alto nivel, su interfaz junta múltiples funciones que facilitan el desarrollo de proyectos triviales, por lo que Python resulta ser un lenguaje de programación con un orden legible y sencillo de estructurar. [10]

Todas las tarjetas de desarrollo Raspberry de la línea PI tienen la misma distribución de pines. Cada tarjeta cuenta con 40 pines de propósito general entre los cuales se encuentran pines de alimentación de 3.3v y 5v, pines de tierra y pines de propósito general de entrada o salida (General Purpose Input/Output o GPIO). Además, cuenta con la posibilidad de configurar diferentes pines (ver anexo 1, figura 1) para trabajar bajo protocolos de comunicación como I²C, PCM, One Wire o para generar señales de PWM. [9]

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

Acorde a los objetivos planteados previamente para el desarrollo del proyecto, inicialmente se presentan los indicadores de consumo de energía eléctrica de cada electrodoméstico en interés de conocer su consumo en un tiempo determinado. A continuación, se expone la dinámica de esta propuesta de trabajo de grado. Después, se muestra el diseño y la implementación del circuito electrónico como medidor de variables eléctricas en tiempo real, siendo éste el medio de control para los dispositivos eléctricos y electrónicos que presenten indicadores de consumo excesivo. Por último, se muestra el diseño del aplicativo móvil y su implementación en el entorno de desarrollo virtual diseñado para la programación de estas interfaces, y de igual forma se muestran los componentes de uso para ensayos de prueba y error de esta propuesta de desarrollo. De esta forma se lograrán obtener los resultados experimentales de este proyecto de tesis.

5.1 Indicadores de consumo de energía eléctrica en Colombia

Conocer los dispositivos que presentan un consumo crítico de energía es indispensable a la hora de elegir en cuales implementar el sistema de control. La tabla 1 muestra el consumo de energía y el costo por hora de los electrodomésticos más comunes en los hogares colombianos, y en base a esta se puede determinar el orden de prioridad del control, es decir, cuales dispositivos son los de mayor impacto en el consumo excesivo de energía y son los que deban ser controlados de forma inmediata. Las variables de *CANTIDAD* y *TIEMPO DE USO DIARIO* son modificables. [20]

ELECTRODOMESTICO	CANTIDAD	TIEMPO DE USO DIARIO (min)	CONSUMO DE ENERGIA x HORA (Wh)	PRECIO x HORA (COP)
Televisor	1	10	110	42,620809
Teléfono inalámbrico	1	10	30	11,623857
Equipo de sonido	1	10	80	30,996952
DVD	1	10	30	11,623857
Ventilador	1	10	50	19,373095
Aire Acondicionado	1	10	1000	387,4619
Calentador eléctrico	1	10	1500	581,19285
Computador	1	10	100	38,74619
Máquina de coser	1	10	100	38,74619
Grabadora	1	10	100	38,74619
Videojuegos	1	10	100	38,74619
Impresora laser	1	10	110	42,620809
Fotocopiadora	1	10	1500	581,19285
Secadora	1	10	5600	2169,78664
Abrelatas eléctrico	1	10	60	23,247714
Brilladora	1	10	500	193,73095

ELECTRODOMESTICO	CANTIDAD	TIEMPO DE USO DIARIO (min)	CONSUMO DE ENERGIA x HORA (Wh)	PRECIO x HORA (COP)
Plancha	1	10	1200	464,95428
Lavadora	1	10	330	127,862427
Aspiradora	1	10	1400	542,44666
Cafetera	1	10	850	329,342615
Estufa	1	10	1500	581,19285
Horno microondas	1	10	800	309,96952
Horno tostador	1	10	1200	464,95428
Olla arrocera	1	10	700	271,22333
Tostadora de pan	1	10	900	348,71571
Waflera	1	10	900	348,71571
Nevera	1	10	60	23,247714
Batidora	1	10	200	77,49238
Congelador	1	10	200	77,49238
Cuchillo eléctrico	1	10	100	38,74619
Exprimidor	1	10	40	15,498476
Extractor jugo	1	10	800	309,96952
Licuada	1	10	350	135,611665
Sandwichera	1	10	1200	464,95428
Greca	1	10	1500	581,19285
Plancha de pelo	1	10	500	193,73095
Secador de pelo	1	10	1780	689,682182
Cepillo de dientes eléctrico	1	10	10	3,874619
Ducha eléctrica	1	10	4000	1549,8476
Bombillo ahorrador	1	10	20	7,749238

Tabla 1. Tabla de consumo de energía eléctrica.

5.2 Dinámica del sistema de control para un dispositivo eléctrico

En el diagrama de clases de la figura 1 se muestra el propósito general de este proyecto de tesis, explicando el funcionamiento del circuito electrónico como sistema de control para un dispositivo eléctrico a partir de las acciones tomadas por el usuario desde el aplicativo móvil.

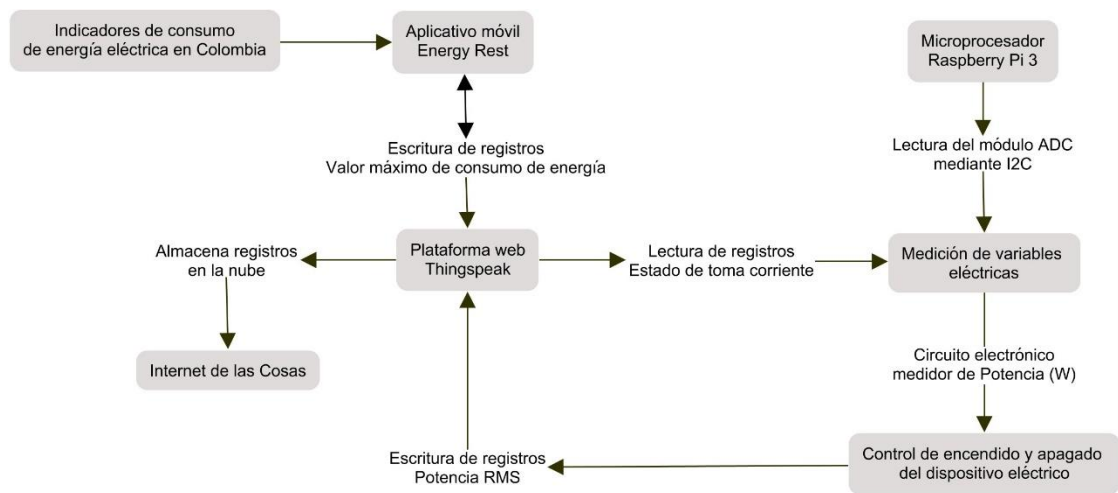


Figura 1. Diagrama de clases en Lenguaje Unificado de Modelado (UML) del sistema de control.

5.3 Diagrama del circuito electrónico como medio de control para un dispositivo eléctrico o electrónico

El circuito se diseña como módulo de control entre la tarjeta Raspberry y la carga AC que se desea controlar (figura 2). Cuenta con un relé que se activa con 5V a la entrada, y permite cargas de 120 VAC de hasta 10 amperios. La señal de 5V que permite el encendido o apagado de la carga proviene de una salida GPIO de la Raspberry. Para protección de la Raspberry se usa un optoacoplador, el cual aísla completamente el circuito de potencia del módulo de control. En los conectores J3 y J4 se conecta la fase y el neutro de la red eléctrica y la carga sin importar en qué orden se haga.

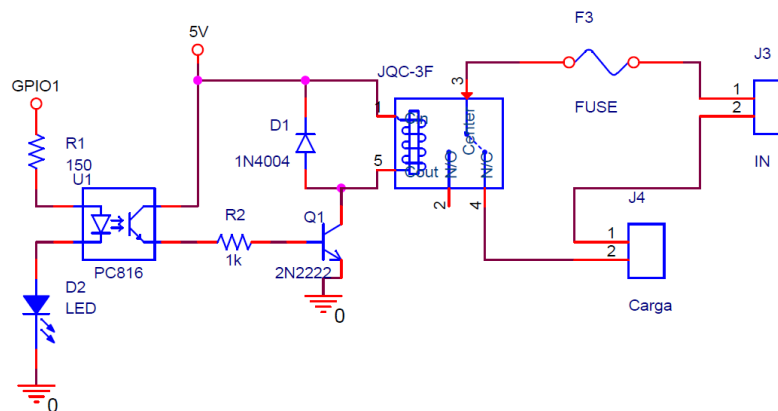


Figura 2. Diseño esquemático para el control de encendido y apagado de un dispositivo con voltaje AC.

Una vez implementado el circuito y cumpla con las expectativas de diseño, se procede a realizar el circuito impreso el cual disminuye considerablemente el ruido eléctrico tanto en las líneas de potencia como en las de datos, primordial a la hora de hacer un tratamiento

fiable a la información obtenida por medio de los sensores. El tamaño reducido, la mayor durabilidad y resistencia de la tarjeta, son características adicionales que ofrece un circuito impreso, puesto que sus componentes van fijamente soldados y el diseñador dispone de la libertad de distribuir los mismos de acuerdo a las necesidades (figuras 3 y 4).

En la elaboración de la tarjeta se hizo uso del programa OrCad Capture para el diseño esquemático y para el diseño del PCB se usó el software PCB Editor Professional.

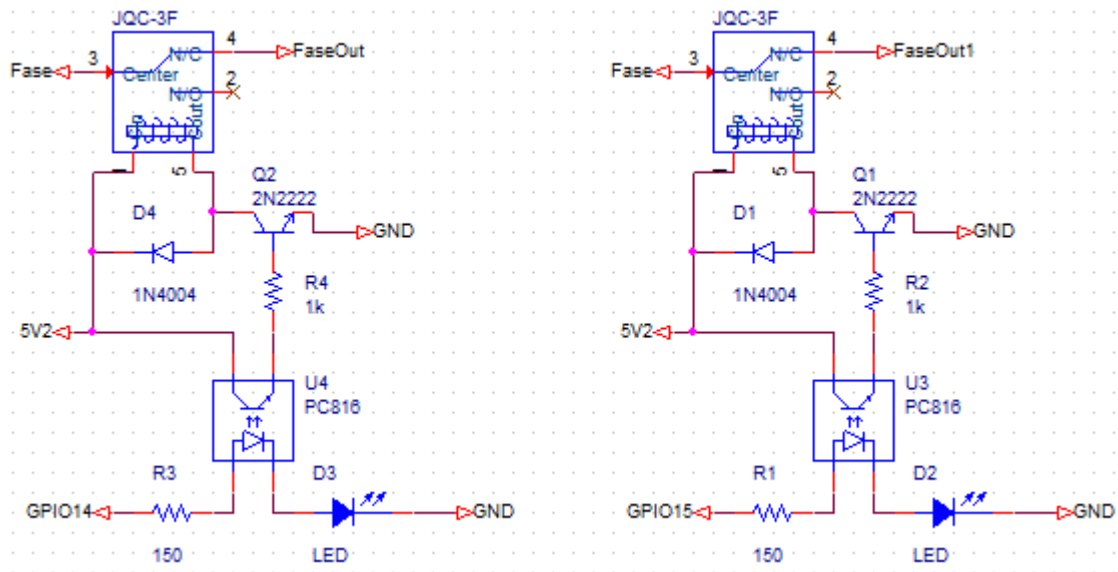


Figura 3. Control de encendido y apagado con relés.

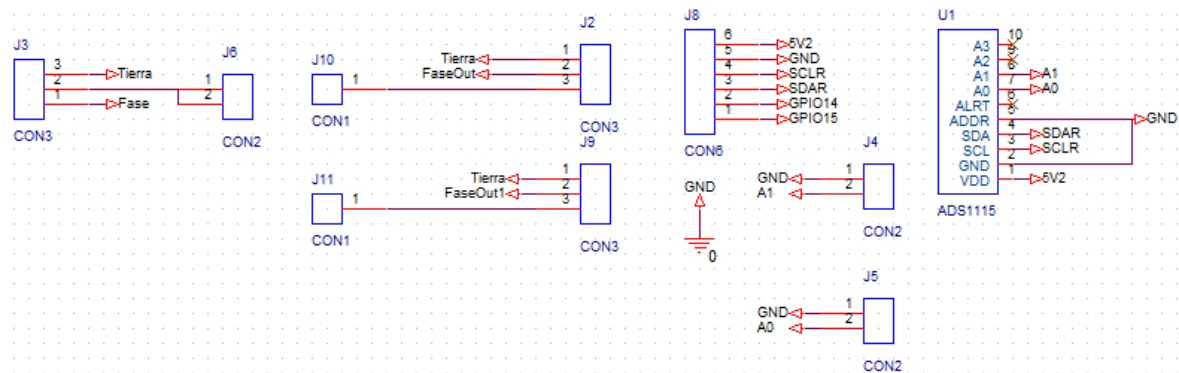


Figura 4. Conectores con la tarjeta de desarrollo Raspberry y toma eléctrica.

5.3.1 Diseño de la tarjeta electrónica

El diseño del circuito impreso se realizó teniendo en cuenta la simplicidad a la hora de usarlo, solamente se conecta a la toma eléctrica y se hace la conexión con la Tarjeta de Desarrollo Raspberry, cuyo conector estará instalado en este sistema de control. Cuenta con dos leds que permiten ver el estado actual del dispositivo (encendido o apagado), en

caso que se quiera verificar el estado actual del mismo. De igual modo, el circuito está diseñado para ofrecer toda la protección posible a la Tarjeta Raspberry, ya que los puertos GPIO están aislados del circuito de control por medio de optoacopladores PC817.

En base a los esquemáticos mostrados en las figuras 5 y 6, se hace el diseño de la tarjeta, obteniendo así el circuito impreso que se muestra a continuación:

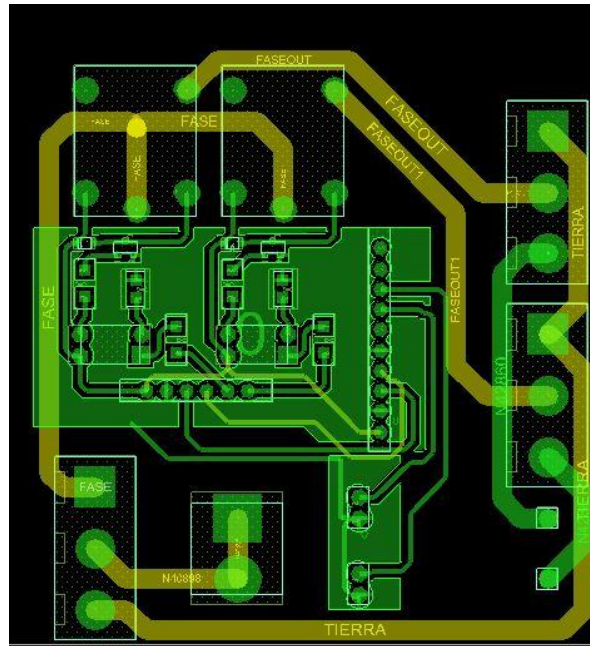


Figura 5. Componentes de la tarjeta y sus líneas de conexión.

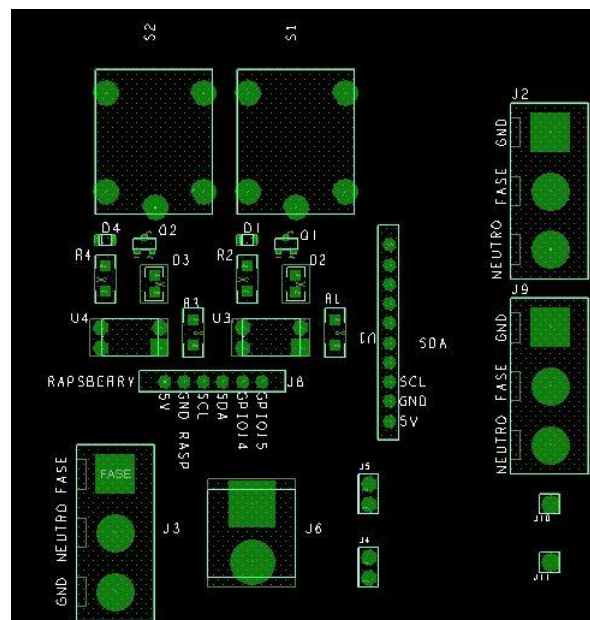


Figura 6. Orden de los componentes de la tarjeta.

5.4 Medición de energía eléctrica basado en microprocesadores

5.4.1 Instalación de librerías de la tarjeta de desarrollo Raspberry

Una característica importante de las tarjetas de desarrollo Raspberry PI, como por ejemplo la PI 3 y Zero usadas en este proyecto de tesis, es que carecen de conversor análogo digital (ADC), módulo indispensable para la adquisición de datos de señales analógicas, como es el caso de las señales dadas por la mayoría de los sensores disponibles en el mercado. Es necesario que todo sensor tenga incluido el módulo ADC o, como en otros casos, que los mismos posean un módulo de comunicación de tipo I²C o comunicación serial. Por ejemplo, el sensor de humedad y temperatura DHT 11 contiene el módulo tipo I²C como protocolo de comunicaciones, con la ventaja de tener ya configurado este módulo desde la librería.

Para descargar las librerías de la tarjeta Raspberry PI, se debe proceder desde el Terminal de la tarjeta misma. Plataformas web, como Github, contienen archivos almacenados en servidores web, lo que facilita el proceso de búsqueda de librerías para implementos electrónicos de medición, lectura y control. Por tanto, el programador debe buscar la librería mediante una dirección específica y realizar la descarga de forma inmediata, y una vez descargado el archivo, debe ingresar a la carpeta del mismo para proceder con la instalación de la librería. Se realizan estas dos actividades mediante estas líneas de código:

```
git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT.git
cd Adafruit_Python_DHT
```

Es necesario verificar que la tarjeta Raspberry PI contenga todos los paquetes actualizados del sistema y esté habilitado para compilar extensiones y librerías de Python. Dicho proceso se ejecuta por medio de las siguientes líneas de código:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install build-essential python-dev python-openssl
```

Como paso final, se procede a hacer la instalación de la(s) librería(s) ejecutando, desde el Terminal de la tarjeta, la siguiente línea de código:

```
sudo python setup.py install
```

5.4.2 Plataforma de código abierto como aplicación del Internet de las cosas

Thingspeak es un “servicio de plataforma analítica de IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube.” [33] Se presta como medio de almacenamiento de datos virtual que le permite al programador “construir estructuras IoT sin configurar servidores externos o desarrollar software web.” [33] (ver anexo 1, figuras 2 y 3). Esta plataforma web permite, a través de canales de información, almacenar datos enviados por dispositivos móviles o aplicaciones web en cualquier instante. Usando el

protocolo de funciones API como ingeniería de software, Thingspeak también permite crear, actualizar y borrar los datos de un campo, cargar otros campos de información y eliminar los mismos acorde a las preferencias de uso.

Thingspeak ofrece, por cada canal de información, una identificación (Channel ID) y una Key para su protocolo de funciones API, o API Key, para tener permisos de lectura y escritura de datos, usando funciones del software MATLAB o emitiendo solicitudes por HTTP (HyperText Transfer Protocol). Cada entrada de datos es almacenada con una fecha, una ID de entrada única y su marca de tiempo. [18] Si se desea recuperar uno o más datos almacenados, se puede ejecutar mediante su ID o por tiempo de ingreso.

5.4.3 Programación en lenguaje Python

Una vez instaladas las librerías necesarias, se procede a programar desde el editor de texto de Python para obtener valores de los parámetros eléctricos obtenidos por los sensores de medición del circuito electrónico, guardar estos datos en una variable *n* y subirlos a la nube digital, editando su respectivo campo de datos en el canal de información de la plataforma web Thingspeak.

Una de las ventajas del lenguaje de programación Python es su legibilidad. Puesto que es un lenguaje de alto nivel, la estructura de programación es muy puntual, promoviendo el uso de funciones y comandos y facilitando su lectura, bien para la adquisición de parámetros eléctricos o para efectuar acciones acorde a datos almacenados en otras plataformas de uso.

Para el correcto funcionamiento del programa, es necesario utilizar tres librerías de Python: *urllib2*, *JSON* y *Time*. La librería *urllib2* ofrece herramientas y funciones para poder trabajar con direcciones URL, en su mayoría direcciones con protocolo HTTP. [10] La librería *JSON* (JavaScript Object Notation) permite hacer uso de este formato de texto en lenguajes como Java y Python, y debido a que su formato de intercambio de datos es liviano, permite un menor gasto de recursos. [11] La función *Sleep()*, que está incluida en la librería *Time* y es la única en uso en este código de programación, tiene la tarea de generar un Delay o demora en la ejecución del programa, haciendo de éste un programa más eficiente en el uso de los recursos de la tarjeta Raspberry. En las siguientes líneas de código se observa el proceso de importación estas librerías al código de programación.

```
import time                # Import the Time module.int
import math                # Python math module
import urllib2,json        # Python Json & URL format modules
```

En las siguientes líneas de código se observa la función *urllib2.urlopen* como método de acceso a la plataforma web de Thingspeak. Esta función accede a la dirección URL específica mediante un String o cadena de caracteres, como parámetro de la función. Con el fin de hacer el código útil para cualquier canal de Thingspeak y que no sea necesario

hacer grandes cambios al código, se utilizan *Channel ID* y *API KEY* como variable global en formato String. Estas variables hacen parte de la dirección URL que permiten el acceso directo a los datos y, de igual modo, habilita los permisos de lectura y escritura de los mismos. La inclusión de estos dos parámetros a la dirección URL se hace usando %, que permite insertar un String específico después del símbolo % al final de la línea de código. En este caso, inserta el contenido de las variables *Channel ID* y *API Key*, en ese orden específico. [12]

```
READ_API_KEY = "FJ3XHF5LRL6J6IJV"      # API Key
CHANNEL_ID=307366                       # Channel ID
```

```
conn = urllib2.urlopen("http://api.thingspeak.com/channels/%s/feeds/last.json?
api_key=%s" % CHANNEL_ID, READ_API_KEY))
```

Otra de las ventajas que ofrece Python es la declaración de variables, puesto que el compilador brinda la asistencia al programador acorde a las características de la variable {en uso. Por ejemplo, los datos almacenados en la variable "response" corresponden a los últimos datos almacenados en cada uno de los campos de información de la plataforma Thingspeak. Dicho esto, se obtiene un arreglo de datos de la variable "response" en formato JSON, formato de lectura de los datos. Es importante tener en cuenta que las operaciones lógicas como "igual", "mayor que" o "menor que" no se pueden realizar con variables en formato JSON, debido a que es un formato de texto liviano, por lo que resulta imposible hacer operaciones lógicas matemáticas. Por lo tanto, se deben pasar los datos leídos a otro formato, por ejemplo, de tipo número, entero o en coma flotante.

```
response = conn.read()                  # Abrir URL de thingspeak en modo lectura
data = json.loads(response)             # Datos en formato json (JavaScript)
```

Se efectúa Cast, que, por definición, realiza la conversión de datos para especificar el tipo de dato con el que se desea trabajar, es decir, realiza el cambio de formato de una variable a la fuerza. Para hacer casting en la entrada de datos, se debe colocar el tipo de formato a trabajar y la variable de entrada entre paréntesis. En la siguiente línea de texto se puede ver el código de programación del proceso de casting para la variable "data", que corresponde al dato de potencia RMS. [13]

```
maximo = float(max(data))*120          # Potencia RMS tipo float
```

Con una operación lógica de comparación, se hace el control de una carga mediante un pulso en alto o en bajo por medio de puertos de salida PWM. El programa está desarrollado para realizar tareas de lectura de manera constante de los datos almacenados en la nube de la plataforma web Thingspeak, en este caso corresponde al campo de información n° 3. Acorde a estos datos, el circuito diseñado efectúa acciones de suministro de energía eléctrica sobre el dispositivo en uso.

```
SP12 = data['field3']
```

```

print SP12                                # Lectura de dato del campo 3
if SP12<>None:
    SP=float(SP12)
    if SP==0:
        GPIO.output(14,GPIO.HIGH)
        print "Carga 1: GPIO UP"
    else:
        print "Carga 1: GPIO DOWN"
        GPIO.output(14,GPIO.LOW)

```

5.4.3.1 Procedimientos matemáticos del programa

A continuación, se pueden observar los procedimientos matemáticos empleados en el programa para el sistema de medición y control de energía eléctrica, desde la frecuencia de muestreo para el convertor Análogo-Digital hasta la conversión de parámetros eléctricos en Potencia Eléctrica para el respectivo envío de datos a la nube digital de la plataforma web Thingspeak.

- Frecuencia de muestreo de una señal discreta:

$$x(n) = \frac{\text{canales ADC}}{\text{frecuencia (hz)}} * n^{\circ} \text{ de muestras} = \frac{4}{60} * 860 \text{ muestras} = 57.333 \text{ muestras/seg}$$

- Resolución del módulo de conversión Análogo-Digital (ADC):

$$\text{Resolución} = \frac{32767}{6144} = 0.1875 \text{ mV/bit}$$

- Formula de conversión de Voltaje para el módulo ADC:

$$\text{Voltaje} = \frac{\text{valor medido} * \text{resolución ADC}}{\text{muestras}} = \frac{\text{valor} * 0.1875}{1000} \text{ V}$$

Para obtener los parámetros eléctricos de consumo de energía eléctrica es indispensable recurrir al sensor de corriente alterna TA12-100 (figura 7), el cual contiene un transformador de voltaje-corriente de relación 1000 a 1, y una resistencia a través de su salida de 200 Ohms. Este sensor es el instrumento óptimo de medición y obtención de indicadores reales de corriente eléctrica para dispositivos de corriente alterna. [37]

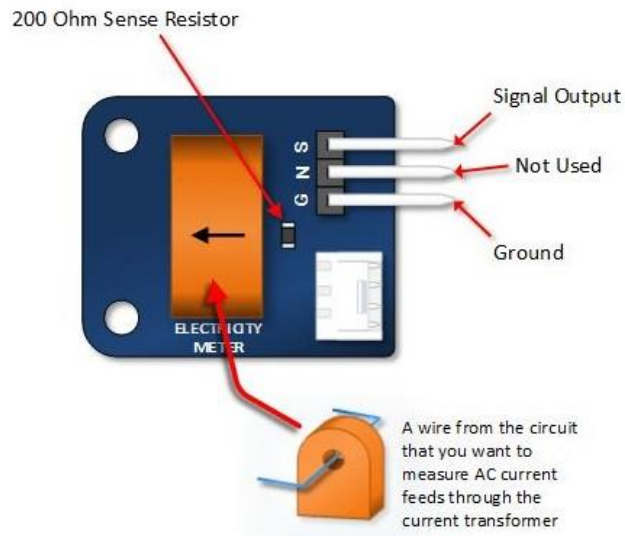


Figura 7. Sensor de corriente AC inductiva TA12-100.

- Obtención del parámetro de corriente pico a pico del sensor de corriente alterna TA12-100:

$$I_{P-P} = \frac{\text{Voltaje}}{200} \text{ mA} * 1000 \text{ A}$$

$$I_{RMS} = I_{P-P} * \frac{\sqrt{2}}{2}$$

- Formula de Potencia eléctrica RMS:

$$P_{RMS} = I * V = I_{RMS} * 120V$$

5.4.3.2 Estructura del sistema de medición de energía eléctrica

En el diagrama de flujo de la figura 8, se muestra la programación del sistema de control para el dispositivo eléctrico o electrónico implementado en la tarjeta de desarrollo Raspberry PI 3 (ver anexo 2), basada en microprocesadores.

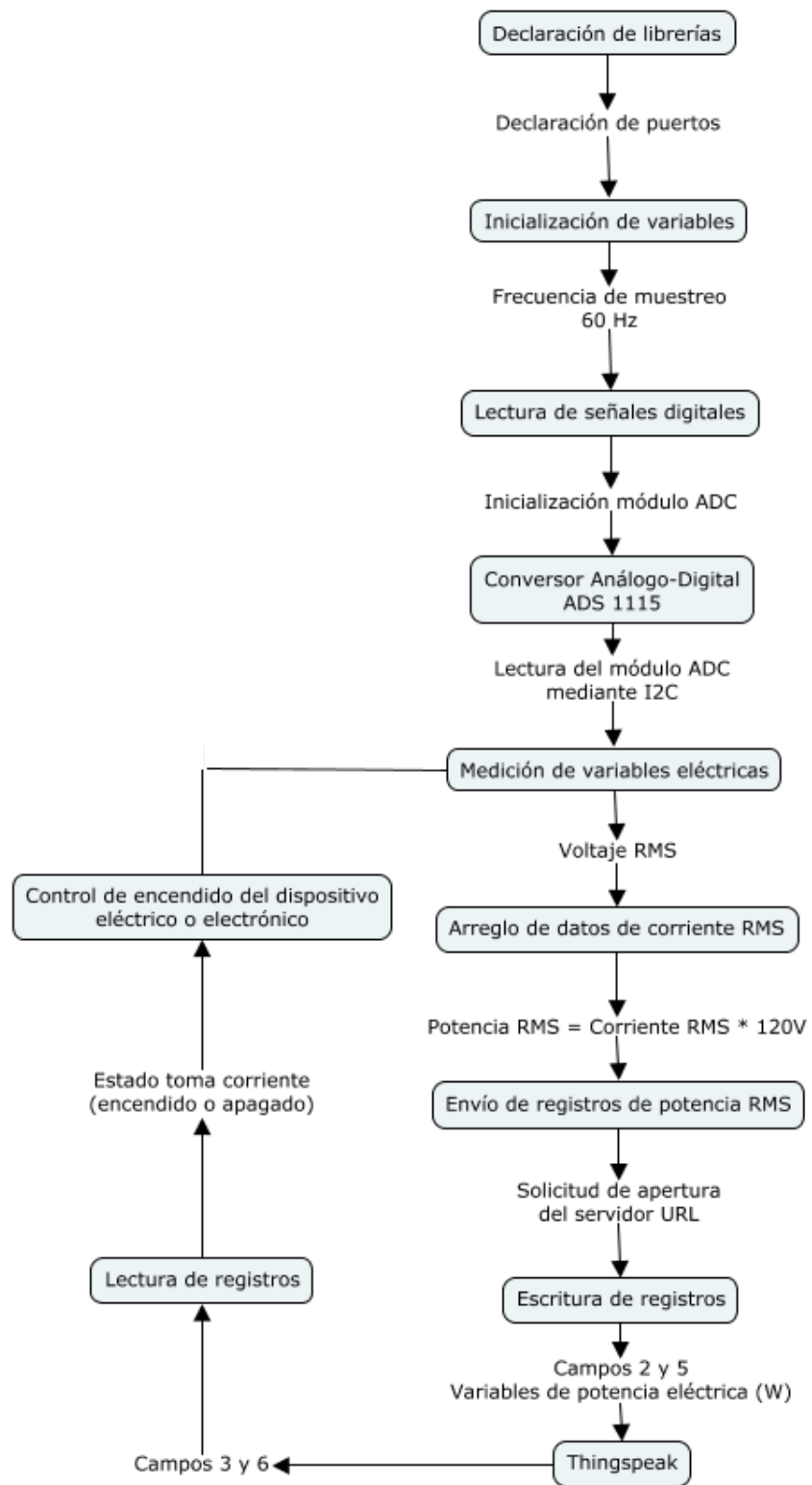


Figura 8. Diagrama de flujo de la programación del sistema de medición y control mediante un microprocesador.

5.5 Diseño y programación del aplicativo móvil

App Inventor es un entorno amigable y dinámico que permita desarrollar aplicaciones para todo el mundo, para todos los dispositivos (sean tabletas, Smart TVs o celulares), para navegadores web y dispositivos con sistema operativo Android, y con un despliegue basado en servicios o servidores web, plataformas de almacenamiento en la nube, o inclusive en multimedia interactiva. App Inventor se basa en un servicio web que permite almacenar datos y realizar seguimiento de proyectos y documentos en cualquier lugar del mundo. Es una herramienta de desarrollo visual interactiva, con un lenguaje de programación gráfica similar al Scratch, de fácil uso, a fines de que cualquier persona, sea o no programadora, logre desarrollar aplicativos para sus dispositivos móviles.

App Inventor brinda dos herramientas de trabajo: *App Inventor Designer* y *App Inventor Blocks Editor*. En la sección de Designer, el programador diseña la interfaz gráfica del aplicativo móvil mediante botones, editores de texto, ventanas de muestreo de información, gráficas, etc. En la sección de Blocks Editor, se efectúa la programación del aplicativo móvil en bloques, los cuales vienen incorporados en bloques de control, bloques lógicos, matemáticos, bloques de texto, bloques de listas, colores, variables y procedimientos. Cada componente tiene sus propios eventos específicos, lo cual hace mucho más dinámica la programación del aplicativo móvil.

Esta interfaz de programación de aplicativos móviles fue la seleccionada para emparentar con el medio de almacenamiento virtual Thingspeak para acceder a los datos almacenados en la nube y realizar actividades de lectura y escritura en tiempo real. Dada su facilidad de uso para la creación de aplicaciones para dispositivos Android (sea para dispositivos móviles, tabletas y Smart TVs), App Inventor se presta para visualizar los campos de información, realizar múltiples tareas o taskings, y llevar a cabo proyectos dinámicos, interactivos y amigables a todo aquel que desee inventar un aplicativo móvil, sea para uso personal o general.

Al igual que en el lenguaje de programación Python, se programó en la sección de App Inventor Blocks Editor con la Key y la identificación del canal (Channel ID) para acceder al canal de información de la nube de Thingspeak y tener permisos de lectura y escritura sobre los campos de información (fields). De esta forma, se logra interactuar con el circuito integrado de medición de potencia eléctrica basado en el protocolo de comunicaciones I²C, y realizar las respectivas acciones de control de la carga a medir.

5.5.1 Plataforma de almacenamiento de datos virtual

Una aplicación para el desarrollo de bases de datos en aplicaciones web y en dispositivos móviles es **Firestore**. Firestore permite almacenar registros de información, bases de datos, registros de autenticación, realiza análisis estadísticos de la aplicación, entre otras funciones, todo en tiempo real. Es una aplicación de uso sencillo que facilita la interacción hombre-máquina en cualquier entorno y en cualquier instante.

La base de datos de Firebase “proporciona un lenguaje flexible de reglas basadas en expresiones con una sintaxis similar a la de JavaScript que permite definir cómo se deben estructurar los datos, cómo se deben indexar y cuándo se pueden leer y escribir.” [14] En combinación con los registros de autenticación, Firebase facilita la capacidad de definir quiénes pueden acceder a determinados datos y a su vez, proteger la información personal de los usuarios contra el acceso no permitido, tal y como se puede observar en la figura 9.

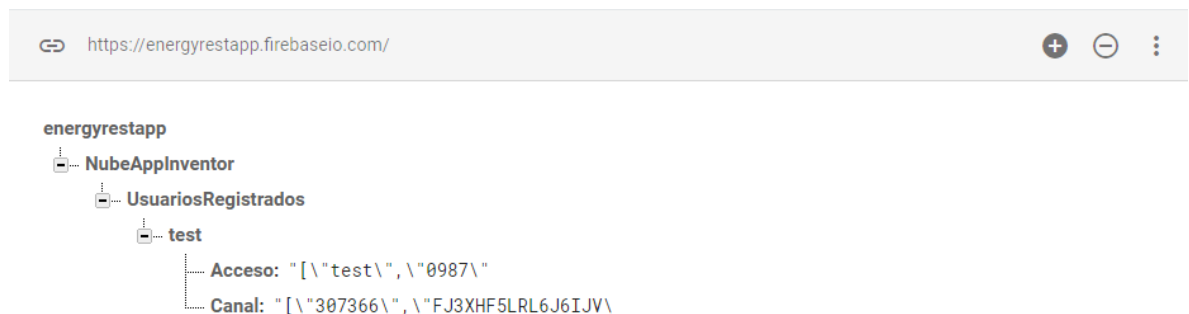


Figura 9. Base de datos de Firebase con los registros de Acceso (cuenta del usuario) y el canal de información de la plataforma Thingspeak.

Durante el desarrollo del aplicativo móvil, fue necesario definir las políticas de autenticación de Firebase en base a reglas públicas, para que todo usuario tuviese acceso a la base de datos y pudiera tanto leer como escribir registros, usando las siguientes líneas de código:

```
{
  "rules": {
    ".read": true,
    ".write": true
  }
}
```

5.5.2 Programación en bloques del aplicativo móvil

5.5.2.1 Pantalla 1

Para todo proyecto en App Inventor, la “Pantalla Uno (1)” o “Screen 1” siempre será la pantalla inicial o por defecto del aplicativo móvil. El programador puede realizar acciones sobre otras ventanas o direcciones web, pero no puede realizar acciones sobre la pantalla inicial. Por tal motivo, se programó una portada del aplicativo móvil en esta pantalla, programando y ejecutando acciones interactivas (como, por ejemplo, el modo cargando) con un temporizador de 5 segundos (figura 10).

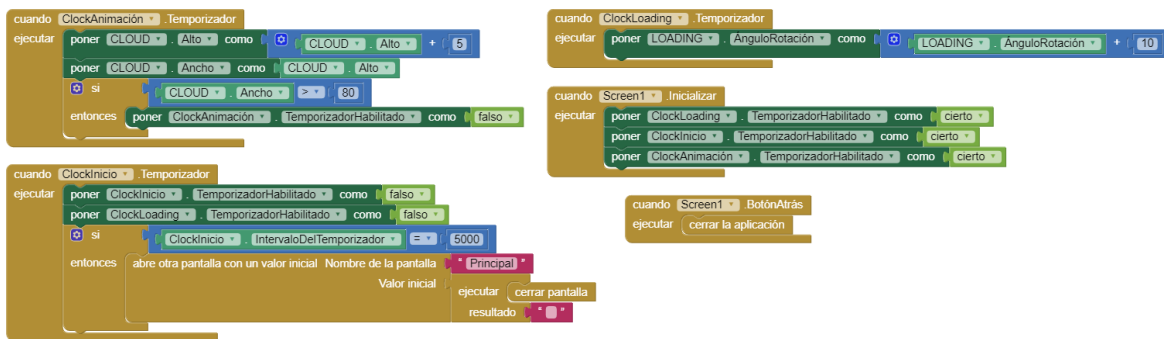


Figura 10. Programación de la portada interactiva del aplicativo Energy Rest.

5.5.2.2 Registro

Una de las ventajas de usar la plataforma web App Inventor son los bloques experimentales, como por ejemplo [FirebaseDB](#). Este bloque permite al usuario enviar datos a la plataforma web Firebase, almacenarlas en la base de datos de la aplicación web y tener acceso a los datos almacenados de la base de datos de Firebase en cualquier instante. Para este caso, se creó el directorio *NubeAppInventor/UsuariosRegistrados* para guardar registros del **Usuario** y su respectiva **Contraseña**. Del bloque FirebaseDB vienen incorporados los siguientes métodos de acción:

- **DataChanged** (text tag, any value): Este bloque indica que el dato en la aplicación web Firebase ha sido modificado. Una vez que se desean guardar los datos, toma los valores y los almacena en una etiqueta, en este ejemplo, *Acceso*. Los valores de usuario y contraseña fueron almacenados en una lista de elementos, siendo estos o valores numéricos o una cadena de caracteres (figura 11).
- **GotValue** (text tag, any value): Este bloque hace un llamado a los datos guardados en la base de datos de Firebase. Cada vez que el usuario desee consultar por la información, se hará sobre la etiqueta dada (como es en este caso, *Acceso*). Como los datos corresponden a una lista de elementos, si los valores no coinciden, no se realizará la lectura correspondiente y emergerá un aviso, alertando al usuario. De lo contrario, si el usuario y la contraseña coinciden, se hará lectura de los valores almacenados y se realizarán las acciones correspondientes al ingreso o registro en la aplicación móvil (figura 12).

Otra de las grandes ventajas de la plataforma web App Inventor es su bloque de almacenamiento de elementos, o [TinyDB](#). De este bloque se componen dos importantes métodos, *Guardar Valor* y *Obtener Valor*. Así como el bloque FirebaseDB, TinyDB incorpora un texto, una cadena de caracteres, un número, una operación matemática o una función booleana acompañado de una etiqueta. Si se desea guardar información sobre el almacén de datos, se usará una etiqueta identificada mediante un bloque de texto. Si se desea acceder a la información respectiva, se hará sobre la misma etiqueta. Este bloque almacena información incluso cerrada la aplicación. De igual modo, este bloque permite almacenar

información de una ventana y acceder a la misma información en otras ventanas. Cada aplicación móvil tiene su propio almacén de datos. Incluso, si tiene múltiples componentes de almacenamiento TinyDB, se usará el mismo almacén de datos. [15]

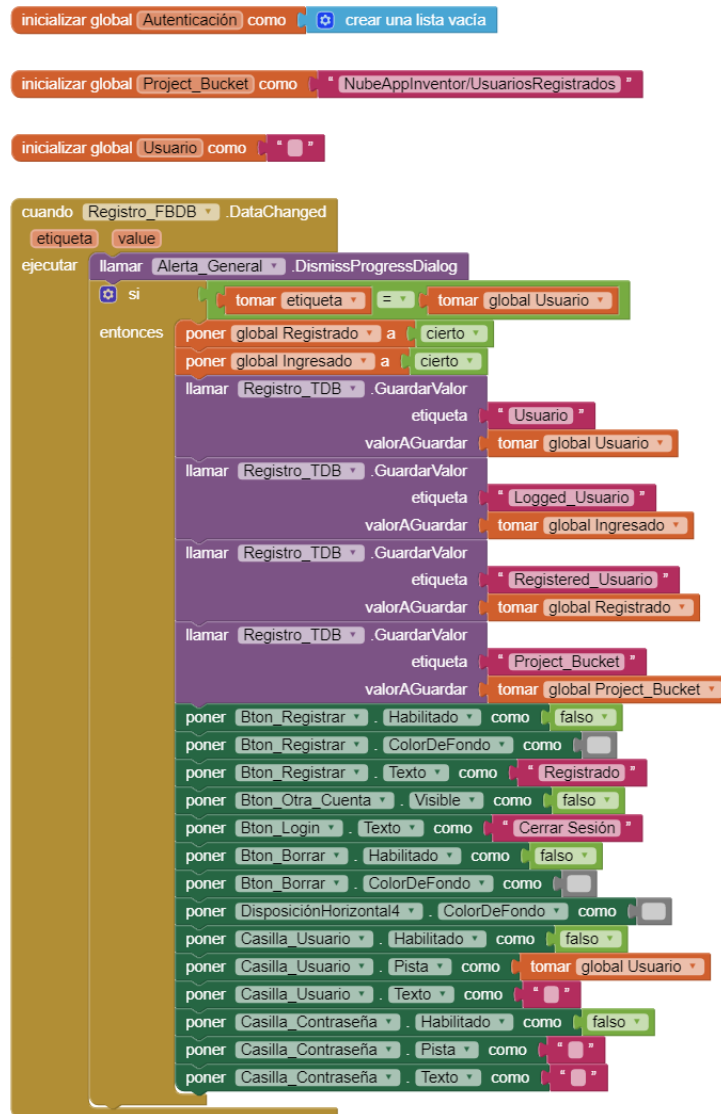


Figura 11. Método de acción DataChanged del bloque de programación FirebaseDB para la escritura de registros en la base de datos.

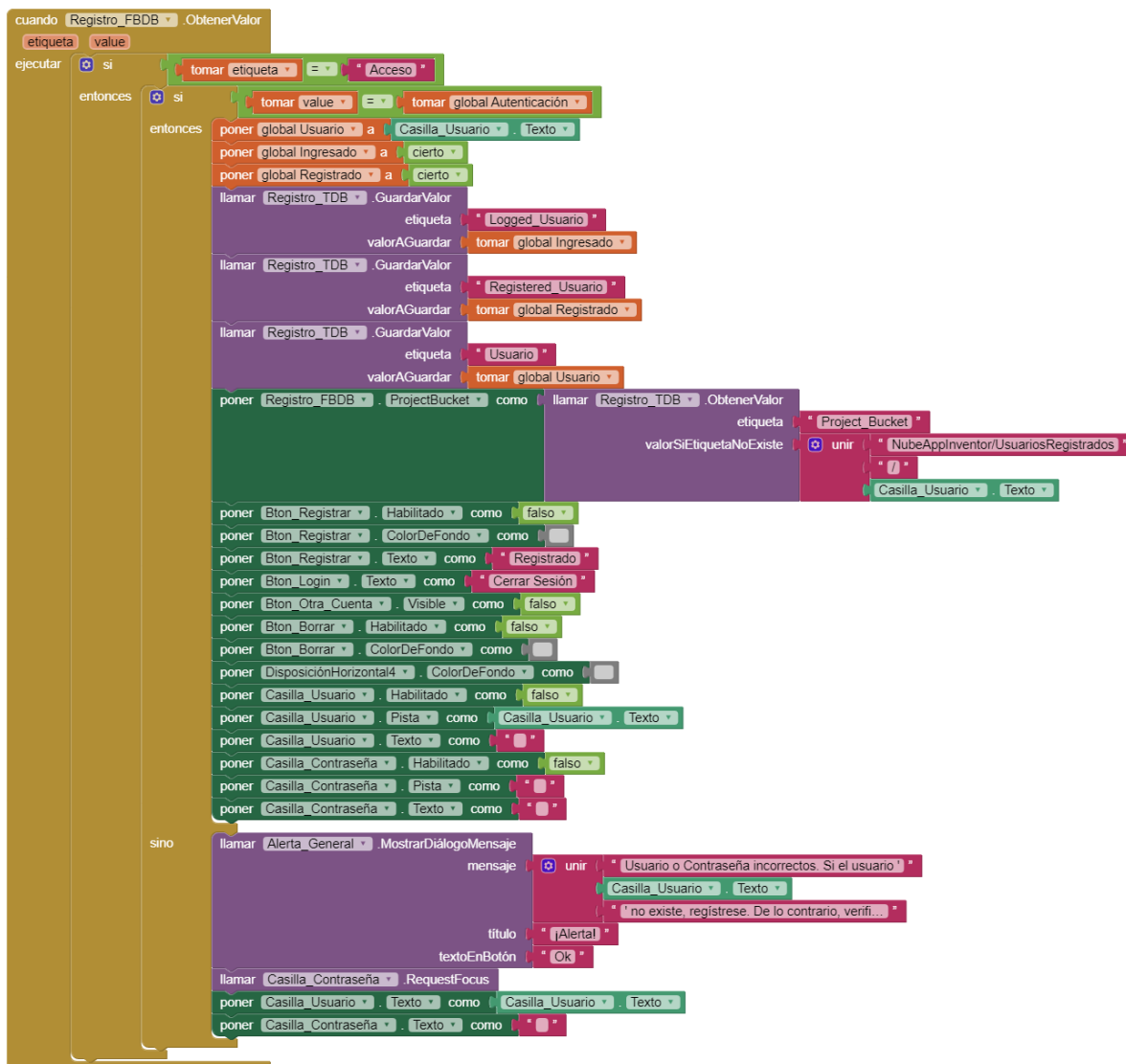


Figura 12. Método de acción GotValue del bloque de programación FirebaseDB para la lectura de registros en la base de datos.

5.5.2.3 Pantalla Principal

Tal y como en la pantalla de Registro, se hizo uso del bloque experimental FirestoreDB para almacenar la información del canal de la plataforma Thingspeak en el aplicativo móvil **Energy Rest**, tanto el **Channel ID** como su respectiva **API Key**, usando el mismo directorio *NubeApplInventor/UsuariosRegistrados*. Por medio del método GotValue, se hace un llamado al registro de Firebase del **Usuario**, a fines de identificar y clasificar los canales de información y sus datos almacenados con el Usuario ingresado. Los mismos métodos de acción empleados en la pantalla de Registro (DataChanged y GotValue) se usaron en esta pantalla y se garantiza al usuario, con los bloques de almacenamiento de elementos (o

TinyDB), que la información se guardará para facilitar el acceso al canal considerando que el usuario haya salido de la sesión o se haya cerrado el aplicativo móvil.

Una vez creado o se ha ingresado al canal de información, el usuario no podrá tener acceso a la pantalla de Registro y del mismo modo emergerán un botón desplegable, un campo de texto y 6 botones de acceso a los campos de información de los datos almacenados de la plataforma Thingspeak. El botón desplegable dará al usuario la opción de seleccionar a que campo de datos desea ingresar (en este caso, desde el campo 1 hasta el 6); el campo de texto es dependiente al número escogido por el usuario desde el botón desplegable, y será ese espacio en donde el usuario ingresará el nombre del campo al cual va a ingresar para establecer o hacer lectura de las consignas del sistema (por ejemplo, si el usuario desea ingresar al campo 1, aparecerá el campo de texto solicitando ingresar la variable del campo 1); y los botones a los campos de información, también dependientes al número escogido por el usuario desde el botón desplegable, servirán de acceso a cada uno de los 6 campos de información y a las consignas de la plataforma Thingspeak desde el aplicativo móvil **Energy Rest**.

5.5.2.4 Campos 1 y 4

Un atributo más de usar la plataforma web App Inventor es el procesador de JavaScript. App Inventor, usando archivos HTML, logra realizar acciones de lectura y escritura de páginas web mediante los bloques de programación Web y WebView (o Visor Web), como por ejemplo acceder a una página detallada, acceder a los contenidos de la página o acceder a información detallada mediante acceso por URL. Usando el componente ActivityStarter, y mediante el dato URL del campo de información de Thingspeak, se logra no solo leer el campo de información en tiempo real, sino también leer el último dato del campo de información. En la figura 13 se podrá ver el código por bloques usado para estas tareas.

URL del campo de datos del servidor web Thingspeak: [17]

<https://thingspeak.com/channels/307366/charts/1?bgcolor=%23ffffff&color=%23d62021&title=&dynamic=true&results=40&type=line&width=350&height=200>

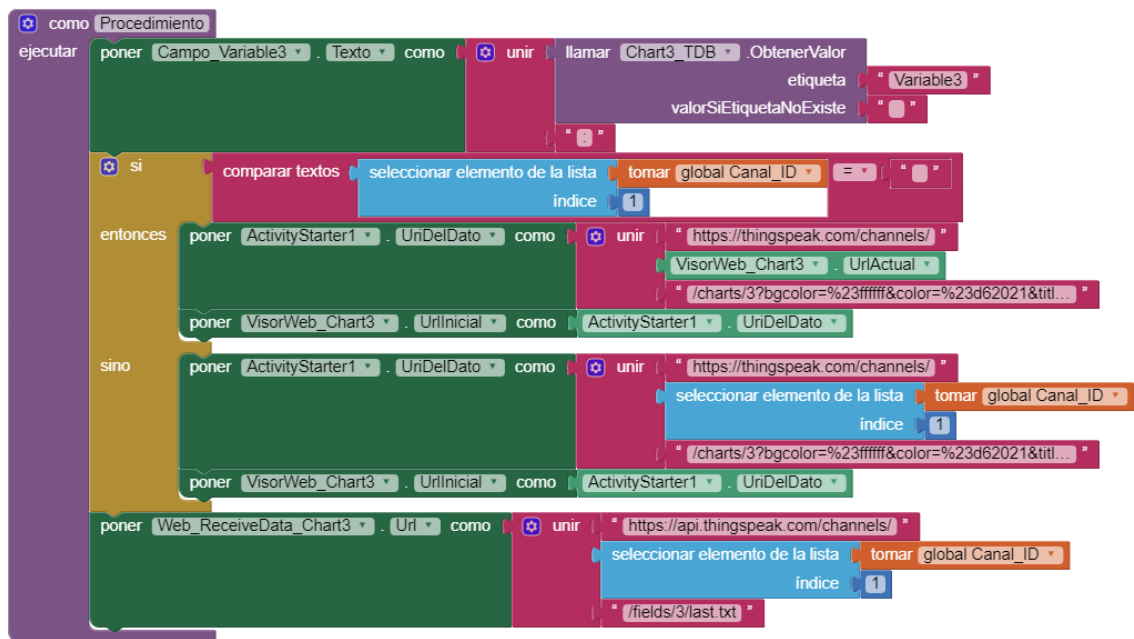


Figura 13. Bloques de información de acceso y lectura del campo de información de Thingspeak mediante la ruta de acceso URL.

Usando temporizadores de 1 milisegundo, se logra acceder al último dato del campo de información de la nube del servidor web Thingspeak en tiempo real, y usando rutas de acceso URL se logra actualizar el campo de información con un valor numérico (figura 14). En esta pantalla, el usuario asigna un valor máximo acorde a los indicadores de consumo de energía eléctrica de cada uno de los electrodomésticos usados en casa. Este valor se comparará con el obtenido por parte del circuito medidor de potencia eléctrica, una vez el usuario ingrese a los campos 2 o 5, dependiendo de la carga, dispositivo o electrodoméstico que desee medir.

URL del último dato del campo de información del servidor web Thingspeak: [18]

[https://api.thingspeak.com/update?api_key=FJ3XHF5LRL6J6IJV&field1="Data"](https://api.thingspeak.com/update?api_key=FJ3XHF5LRL6J6IJV&field1=)

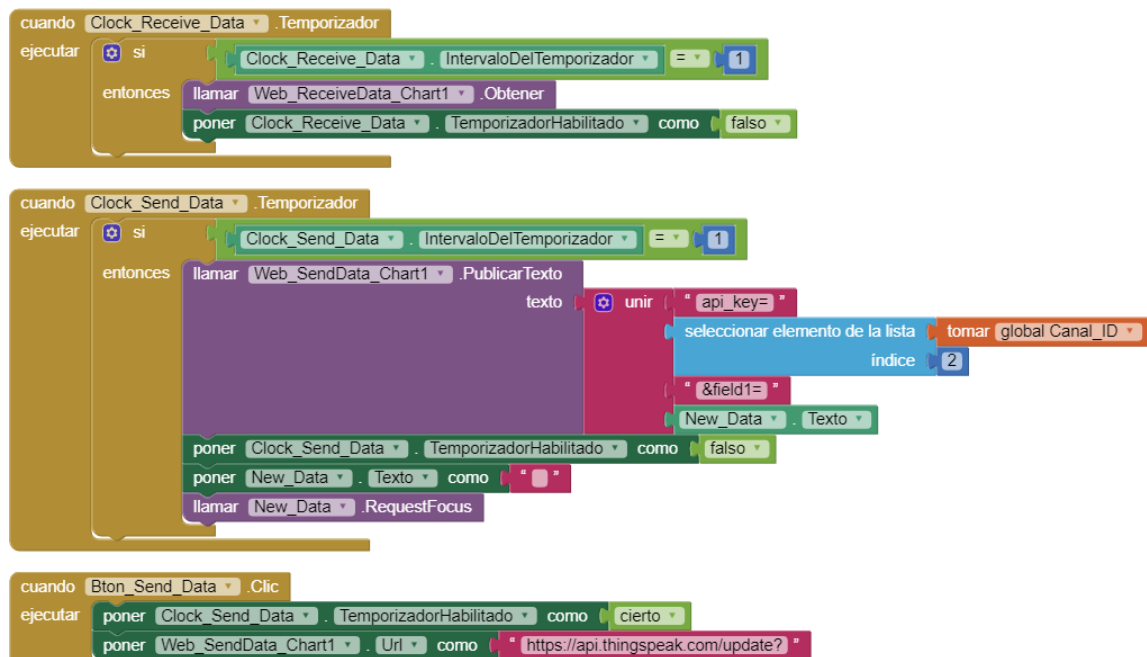


Figura 14. Bloques de información de acceso y lectura del último dato del campo de información de Thingspeak mediante la ruta de acceso URL.

5.5.2.5 Campos 2 y 5

Así como en los campos uno (1) y cuatro (4), y usando el bloque de almacenamiento de información TinyDB para extraer los datos de la pantalla principal de Channel ID y API Key del servidor web Thingspeak, se usa el bloque ActivityStarter para acceder a los campos de información 2 y 5, respectivamente. Estos valores representarán los obtenidos por el circuito medidor de potencia eléctrica enviados a través de la tarjeta de desarrollo Raspberry PI. Usando un temporizador de 7 segundos, se comparará tanto la información obtenida del medidor de corriente como el valor fijo establecido por el usuario.

Si el valor medido por el circuito medidor de potencia eléctrica es mayor al valor máximo de consumo ingresado por el usuario, indicará con un mensaje que el electrodoméstico está en óptimas condiciones de consumo. Si el valor medido es menor, se mostrará un aviso informativo preguntando qué acción tomar, o apagar el dispositivo o no realizar ninguna acción. El usuario reprogramará la medición acorde a un tiempo que el usuario estime conveniente, y una notificación en la barra de tareas aparecerá en el dispositivo móvil en el tiempo fijado por el usuario (usando los bloques de programación de Push Notification, descritos a continuación).

Push Notification: Para enviar una notificación a la barra de tareas del celular del usuario fue necesario incluir una extensión del programa, el Push Notification de Pura Vida Apps, que consiste en enviar una notificación en n segundos (programados por el usuario) con el correspondiente título, texto e imagen. Esta extensión permite enviar un texto plano luego

de reiniciado el aplicativo móvil. El usuario puede ingresar al aplicativo desde la notificación de la barra de tareas o restringir el acceso desde la misma. Para la aplicativo **Energy Rest**, se programó para mostrar el aviso en un tiempo n configurado por el usuario usando un campo de texto. Una vez pulsado el botón “Enviar Notificación”, emergerá un aviso informativo indicando que la notificación se disparará en el tiempo n programado por el usuario, y acto seguido el aplicativo se cerrará. La notificación emergerá de forma efectiva en el dispositivo móvil.

La programación en bloques del Push Notification para el aplicativo móvil Energy Rest se puede observar en la figura 15, haciendo énfasis en la programación del botón Enviar Notificación y las acciones realizadas cuando el campo se muestra vacío, cuando se programa para un segundo o cuando se programa para más tiempo.

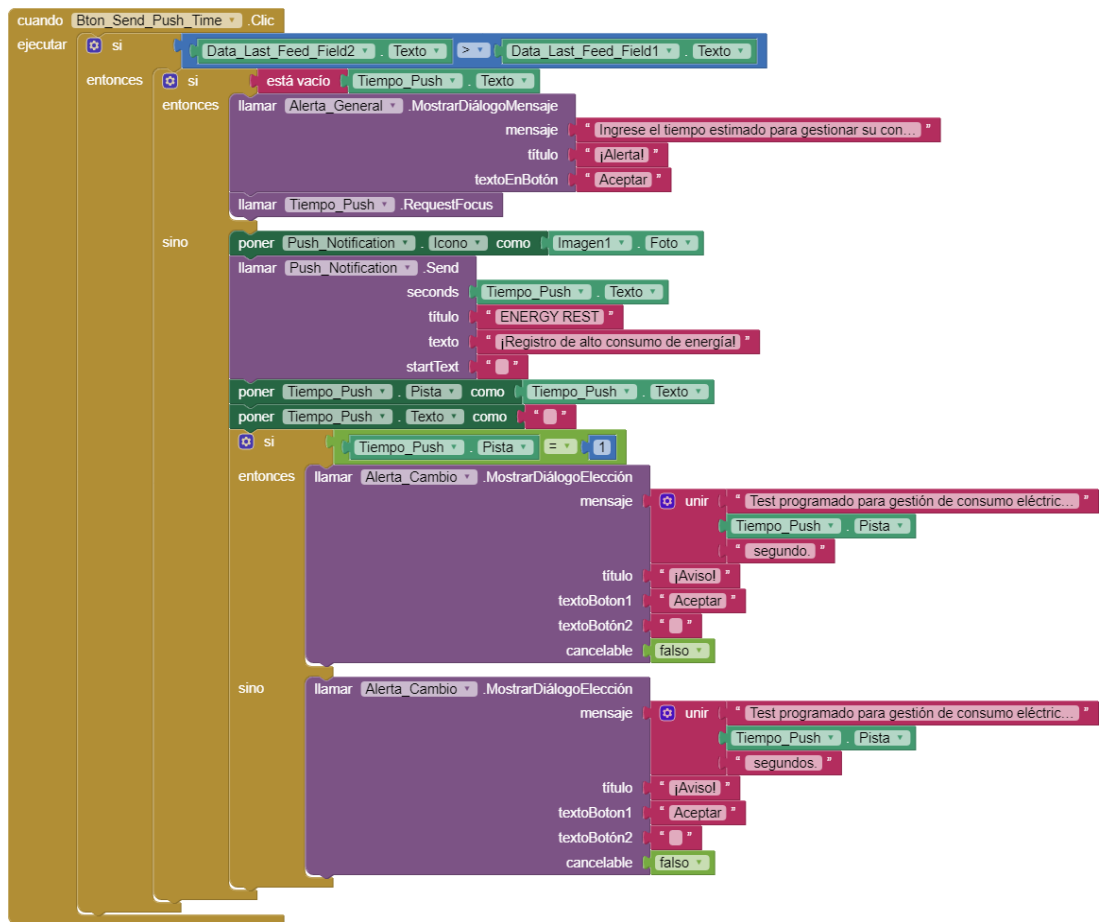


Figura 15. Programación en bloques del botón “Enviar Notificación” y las acciones realizadas para mostrar la notificación en el dispositivo móvil.

5.5.2.6 Campos 3 y 6

Una vez más, se usan los bloques de almacenamiento de información TinyDB para hacer lectura de los datos almacenados de Channel ID y API Key de la pantalla principal del aplicativo móvil. Posteriormente, se usan los bloques de programación web ActivityStarter, Web y WebView para acceder a los campos de información en la nube del servidor web Thingspeak de los Campos 3 y 6 y visualizar la gráfica junto con el estado de la toma corriente del dispositivo medido producto de las acción impartida en los Campos 2 o 5, una vez se hayan comparado los valores reales del medidor de potencia eléctrica y el valor límite determinado por el usuario.

5.5.3 Entornos de simulación para la elaboración del aplicativo móvil

5.5.3.1 Simulador del entorno de desarrollo del software App Inventor

App Inventor cuenta con un simulador como aplicativo para los dispositivos móviles en búsqueda de realizar pruebas de funcionamiento de cualquier proyecto realizado en tiempo real, el **App Inventor Companion (o AI Companion)**. “Esta aplicación puede descargarse desde la Play Store o como archivo APK, o escaneando los códigos QR de la página web <http://appinventor.mit.edu/explore/ai2/setup-device-wifi.html> para acceder al link de la aplicación en el Play Store o para descargar la aplicación en formato APK.” [16] Una vez instalada la aplicación, el programador puede conectar el proyecto por AI Companion desde el servidor web con el dispositivo móvil, como se observa en las imágenes 16, 17 y 18, y realizar pruebas en tiempo real con botones, acciones de lectura y escritura de texto plano y páginas web, agregar y quitar componentes del proyecto como imágenes, etiquetas y casillas de verificación, utilizar componentes de comunicación como sonidos, textos a voz y grabaciones, también sensores como acelerómetros, sensores de ubicación, orientación y proximidad, relojes, y componentes de almacenamiento, entre otros.

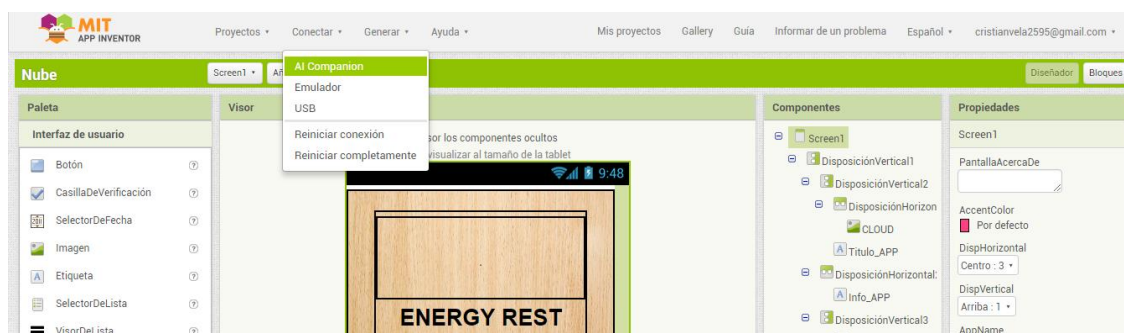


Figura 16. Barra de ajustes y prueba de cómo conectar el dispositivo móvil con el proyecto actual de App Inventor mediante AI Companion.

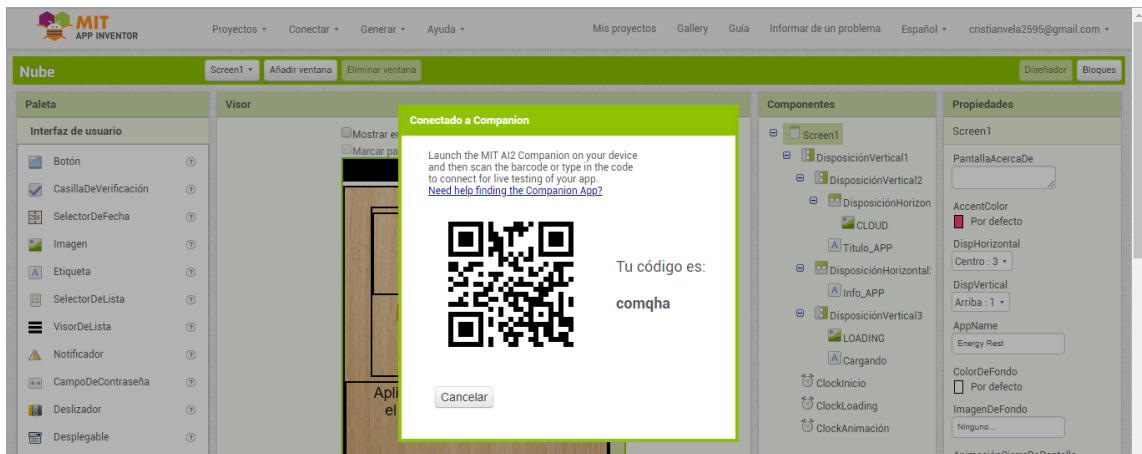


Figura 17. Diálogo con solicitud de conexión del dispositivo mediante un código QR o un código auxiliar de acceso.

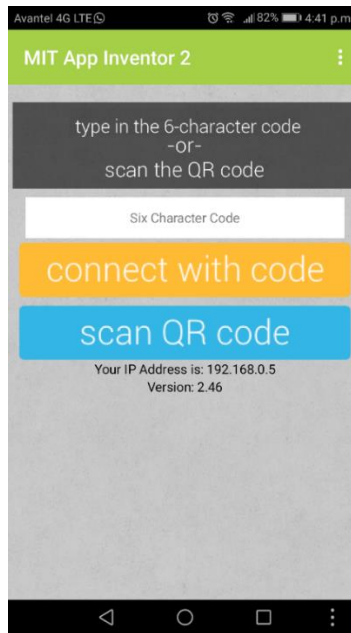


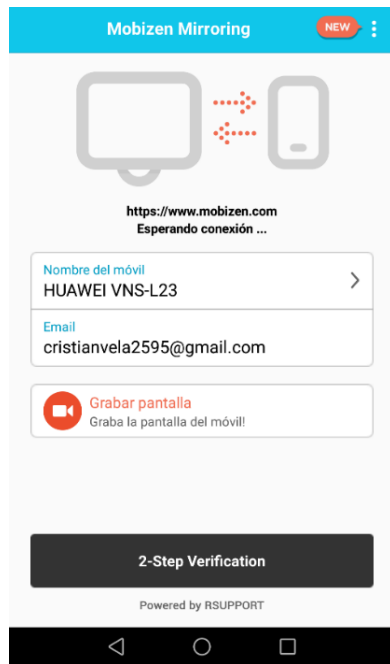
Figura 18. Conexión del proyecto de App Inventor, usando o el código QR o mediante un código de acceso, en el dispositivo móvil.

5.5.3.2 Plataforma de Screen Mirroring (duplicador de pantalla) del móvil en el ordenador

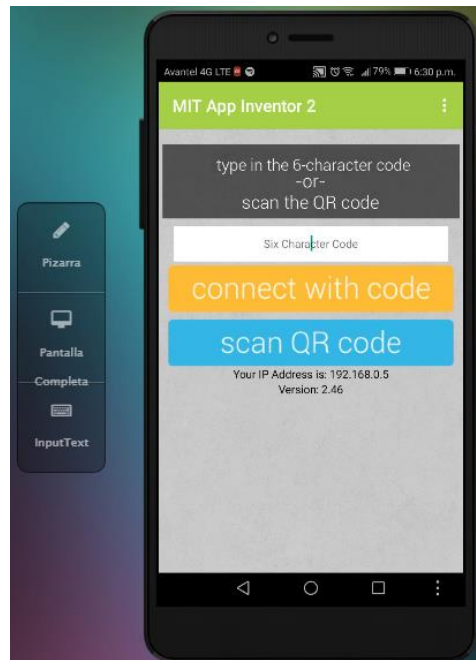
Mobizen Mirroring es una aplicación gratuita para los dispositivos Android que permite conectar el Smartphone o Tablet con el PC y controlar el dispositivo móvil desde el mismo mediante conexiones por cable USB o Wifi. Mobizen permite interactuar con el dispositivo móvil desde el equipo como si estuviese en las manos de un individuo, es decir, las funciones táctiles actúan del mismo modo en el ordenador, pero en este caso controlado por el mouse, y todos los campos de texto visualizados en el móvil y en una o varias

aplicaciones también se logran trabajar con el teclado del PC. Todas las aplicaciones móviles se desempeñan en el ordenador en tiempo real, siendo esta aplicación una herramienta muy útil, sencilla y dinámica de interacción máquina – máquina (figuras 19 y 20).

Es importante tener en cuenta que, para habilitar los instrumentos de control (mouse y teclado) en el dispositivo móvil en modo de conexión por USB, es necesario configurar el dispositivo mismo como desarrollador y habilitar la depuración por USB. Además, se deberá configurar, en los ajustes del móvil, el uso del teclado del ordenador habilitando el mismo de Mobizen Mirroring.



(a)

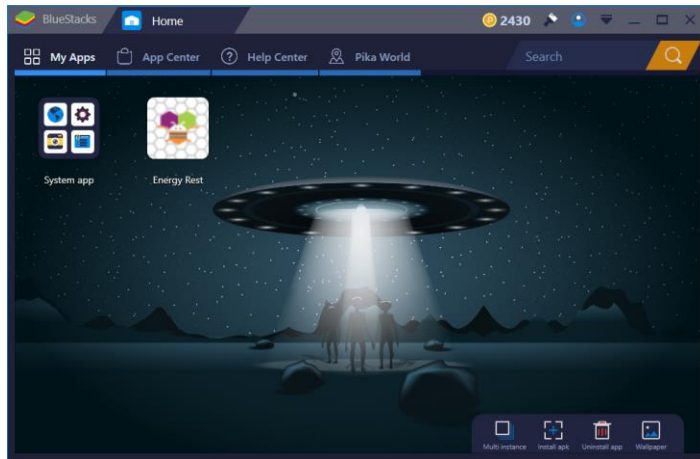


(b)

Figuras 19 y 20. Interfaz de conexión de Mobizen Mirroring en el dispositivo móvil y captura de pantalla del dispositivo móvil en el ordenador.

5.5.3.3 Emuladores del sistema operativo Android para pruebas de diseño del aplicativo móvil

BlueStacks es un software emulador de la interfaz de desarrollo Android en equipos con sistemas operativos Mac OS y Windows. Permite ejecutar aplicaciones y juegos Android en tiempo real, a pantalla completa, y permite la libre descarga e instalación de aplicaciones desde Google App Store y la instalación de aplicaciones en formato APK, siendo este software uno de los mejores emuladores a nivel de efectividad, rendimiento, estabilidad, y de fácil uso. BlueStacks fue el emulador escogido para realizar pruebas de funcionamiento, asignación de recursos y pruebas de estabilidad del aplicativo móvil desarrollado para este proyecto de tesis, tal y como se puede observar en las imágenes 21 y 22.



(a)



(b)

Figuras 21 y 22. Interfaz de BlueStacks con el aplicativo Energy Rest instalado (a) y en ejecución (b).

6. RESULTADOS Y ANALISIS

En esta sección se muestra el diseño y la implementación del aplicativo móvil **Energy Rest** y el circuito electrónico como medio para la medición de variables eléctricas, explicando paso a paso su funcionamiento, su desempeño con los registros en la nube de la plataforma web Thingspeak y las acciones ejecutadas sobre los dispositivos eléctricos y electrónicos. Posteriormente se evalúa el rendimiento del sistema de control mediante la calibración del mismo respecto a otro medidor, y el tiempo de respuesta ante las pruebas realizadas ante el control de encendido y apagado del dispositivo eléctrico, con el propósito de validar la implementación de este sistema y de esta forma realizar las conclusiones pertinentes.

6.1 Implementación del aplicativo móvil

Inicialmente se muestra por 5 segundos la pantalla de Portada con el logo interactivo del aplicativo móvil **Energy Rest** (figura 23 (a)), y acto seguido se abre la pantalla de Inicio. En la parte superior de esta pantalla, se observará el siguiente mensaje: “*Bienvenido. Inicie sesión para acceder a su canal*” (figura 23 (b)), que indicará que se debe dirigir a la pantalla de Estado de Cuenta usando el botón de **Iniciar Sesión**, cuya ubicación es en el menú desplegable del aplicativo móvil (pulsando el botón de **Menú** con el ícono ☰), junto con tres (3) botones: **Indicadores de Consumo**, **Ayuda y Asistencia** y **Salir** (figura 23 (c)).



Figura 23. Visualización de la pantalla de Intro (a) y la pantalla de Inicio (b) junto con su menú desplegado (c).

Ubicado en la pantalla de Estado de Cuenta, se debe crear un **Usuario** con su respectiva **Contraseña** en los campos de texto correspondientes (figura 24 (a)). Dicha información se guardará en la base de datos de *Firebase*, sea para uno o mil usuarios creados. Una vez registrado (figura 24 (c)), se podrá cerrar la sesión actual y volver a ingresar cuantas veces sea requerido. Si se ingresan los datos de forma incorrecta, emergerá un aviso informativo y se solicitará ingresar las credenciales de nuevo (figura 24 (b)). Si se solicita ingresar con credenciales de otra cuenta, se debe pulsar el botón **Inicie sesión con otra cuenta**. Se

pueden borrar las credenciales del aplicativo móvil usando el botón **Borrar Cuenta**. Inmediatamente después de registrado, se debe dirigir de nuevo a la pantalla de Inicio desplegando el menú lateral y pulsando el botón de **Volver a Inicio** o usando el botón **Atrás** del dispositivo móvil.

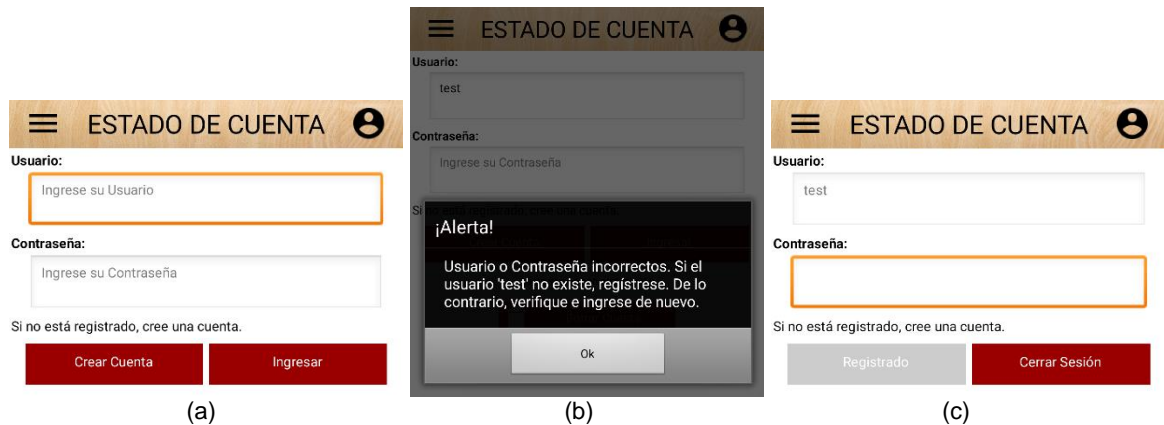


Figura 24. Capturas de pantalla solicitando registro o ingreso (a), la alerta de datos erróneamente ingresados (b) y el usuario registrado (c).

Se diseñó la ventana de Ayuda y Asistencia que consiste en una interfaz gráfica de rápida ayuda de uso del aplicativo **Energy Rest**, explicando de manera detallada, clara y concisa la información de cada una de las ventanas del aplicativo y los datos que son necesarios completar para acceder a los registros de la plataforma web Thingspeak, cuyos registros se pueden apreciar simultáneamente en el aplicativo móvil de forma individual campo por campo, y del mismo modo realizar las actividades de monitoreo y acción sobre el(los) dispositivo(s) eléctricos(s) y electrónico(s). Para acceder a esta ventana se debe desplegar la columna de menú y pulsar el botón de **Ayuda y Asistencia** (figura 25).

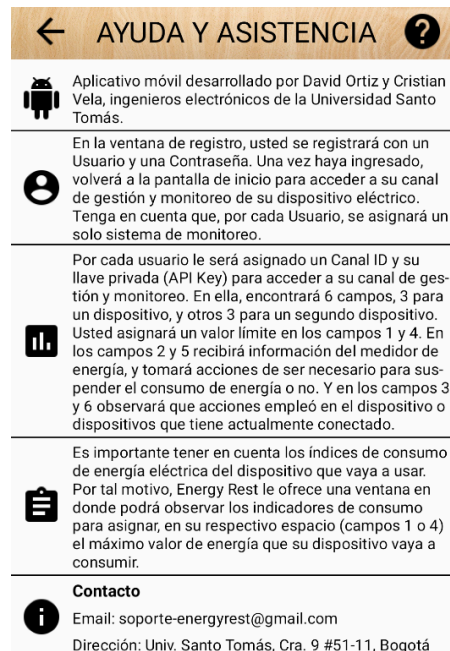


Figura 25. Visualización de la pantalla de Ayuda y Asistencia.

Situado en la pantalla de Inicio, se deben llenar los campos con las respectivas credenciales del canal de la plataforma web Thingspeak (**Channel ID** y **API Key**) para tener acceso a los registros de dicha plataforma e inscribirse creando un nuevo registro, el cual se guardará en la base de datos de *Firebase* (figura 26 (a)). Una vez ingresado al canal, emergerá un **Botón de Selección** que permitirá escoger que botón estima el usuario usar para ingresar a los registros en la nube, cuyos botones van desde el Campo 1 hasta el Campo 6 (figura 26 (b)), y una línea de texto donde el usuario ingresará el nombre del respectivo campo al cual va a ingresar.



Figura 26. Capturas de la pantalla de Inicio solicitando ingreso con las credenciales de Thingspeak (a) y las rutas de acceso a los campos (b y c.)

Es importante tener en cuenta los índices de consumo de energía eléctrica en vista de qué dispositivo se desea medir y por cuanto tiempo, facilitando la búsqueda de conocer cuánta energía eléctrica consume el dispositivo actual. Por tal motivo, se dispone de una tabla de

indicadores en la ventana de Indicadores de Consumo, que contienen los diferentes electrodomésticos que usualmente se usan en una residencia, el tiempo de consumo en minutos, el consumo de energía eléctrica en Vatios (Watts) por hora, y el costo por hora de energía eléctrica (figuras 27 (a) y (b) respectivamente).



Figura 27. Capturas de pantalla de las ventanas 1 y 2 de los Indicadores de Consumo (a y b respectivamente).

Acorde a la tabla de indicadores de consumo de energía eléctrica de cada uno de los dispositivos, se debe ingresar a los registros en la nube de la plataforma web Thingspeak usando los botones 1 o 4 para las ventanas de Campo 1 o Campo 4 (figuras 28 (a) y (b) respectivamente), dependiendo de cuantos dispositivos eléctricos o electrónicos se encuentre monitoreando. Se debe asignar un valor máximo o umbral de consumo de energía eléctrica con el fin de controlar de forma cualitativa y efectiva el consumo del dispositivo eléctrico o electrónico. Acto seguido, se debe retornar a la pantalla de Inicio desplegando el menú lateral y pulsando el botón de **Volver a Inicio** o con el botón de **Atrás** del dispositivo móvil.

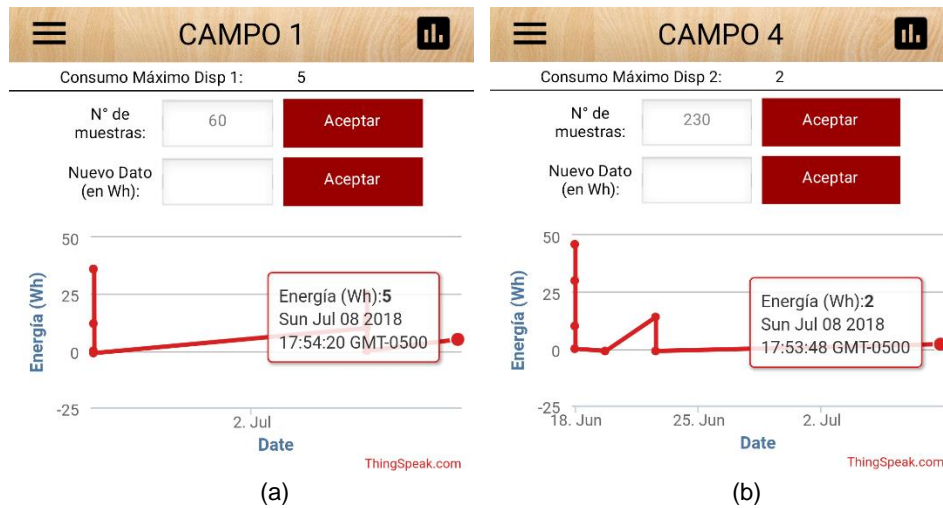


Figura 28. Capturas de pantalla de los campos 1 y 4 (a y b respectivamente).

Situado en la pantalla de Inicio, se debe seleccionar el botón nº2 del **Botón de Selección** y rellenar el campo de texto con las credenciales para el Campo 2 (figura 29). Es fundamental tener en cuenta que, si se desea o es necesario volver a ingresar al Campo 1, no se debe seleccionar el botón nº 1 para volver a ingresar un nombre para el campo, éste permanecerá hasta que se cierre el aplicativo. Por tanto, con solo pulsar el botón de **Campo 1** se podrá ingresar nuevamente al Campo 1 así se haya seleccionado el botón nº1 o el nº6, y de igual modo sucederán con los demás campos.



Figura 29. Captura del botón de selección de campos.

Instalado en la pantalla del Campo 2, el aplicativo comparará el valor máximo de consumo eléctrico establecido por el usuario en la ventana del Campo 1 y el valor obtenido del circuito de medición de potencia eléctrica. Si este segundo valor es menor al valor máximo de consumo, indicará con un mensaje que el electrodoméstico está consumiendo energía

eléctrica de manera óptima (figura 30 (a)). Si por el contrario, este segundo valor resulta ser mayor al valor máximo de consumo de energía eléctrica, se mostrará un aviso informativo preguntando qué acción tomar, o apagar el dispositivo o mantenerlo encendido (figura 30 (b)). Si se decide apagar el dispositivo, éste se desconectará de la toma eléctrica; si por el contrario se determina no apagar el dispositivo, se programará nuevamente la medición del mismo acorde a un tiempo que el usuario estime conveniente (figura 30 (c)). Una vez cumplido el tiempo programado aparecerá una notificación en la barra de tareas en el dispositivo móvil solicitando la medición del electrodoméstico en uso (figura 30 (d)). Es importante tener en cuenta que, si se tiene un segundo dispositivo conectado al circuito medidor de energía eléctrica y se desea medir, es necesario ingresar al Campo 5 para efectuar cada uno de los pasos procedentes como en el Campo 2.

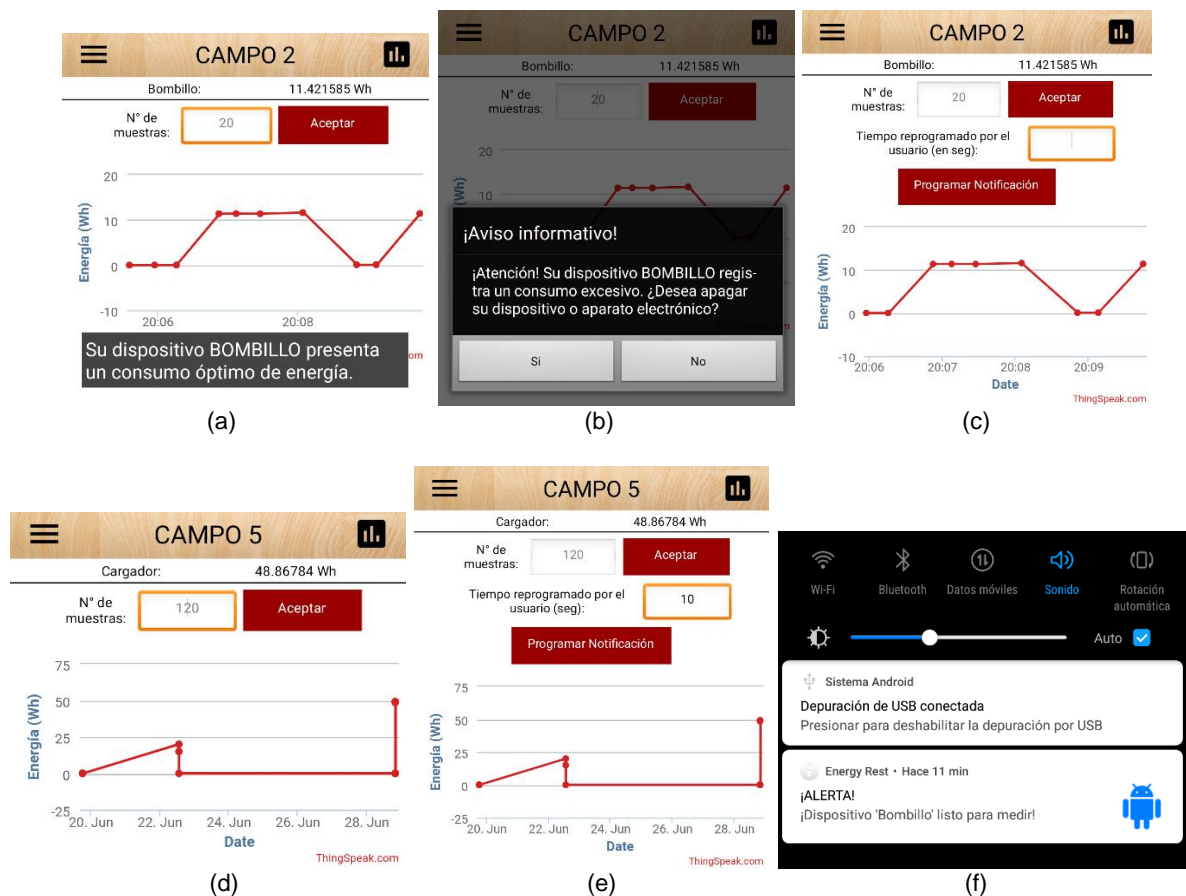


Figura 30. Capturas de pantalla del Campo 2 con los registros de consumo óptimo (a) y consumo excesivo (b) y la programación de la app para un próximo análisis (c); capturas del Campo 5 (d y e) y la notificación de consumo (e).

Como punto final del funcionamiento del aplicativo móvil **Energy Rest**, es trascendental tener en cuenta el estado actual de la toma corriente en el momento de conectar y medir otro dispositivo electrónico. Se debe seleccionar, dependiendo de cuantos dispositivos electrónicos se encuentre monitoreando, los botones n° 3 o n° 6 e ingresar al Campo 3 o

Campo 6 para observar si la toma corriente está Apagada (figura 31 (a)) y tiene suspendido el suministro de energía eléctrica, o está Encendida (figura 31 (b)) y está suministrando energía eléctrica, acorde a las acciones realizadas desde las ventanas de Campo 2 o Campo 5, acciones que trascienden de manera simultánea en el sistema de medición de consumo de potencia eléctrica.

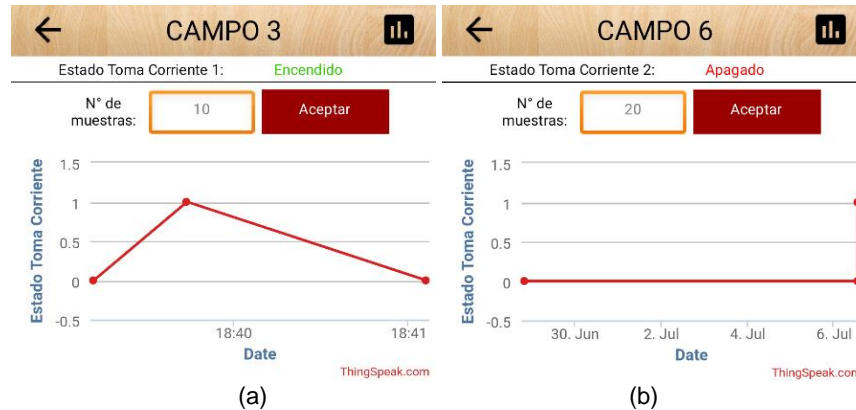
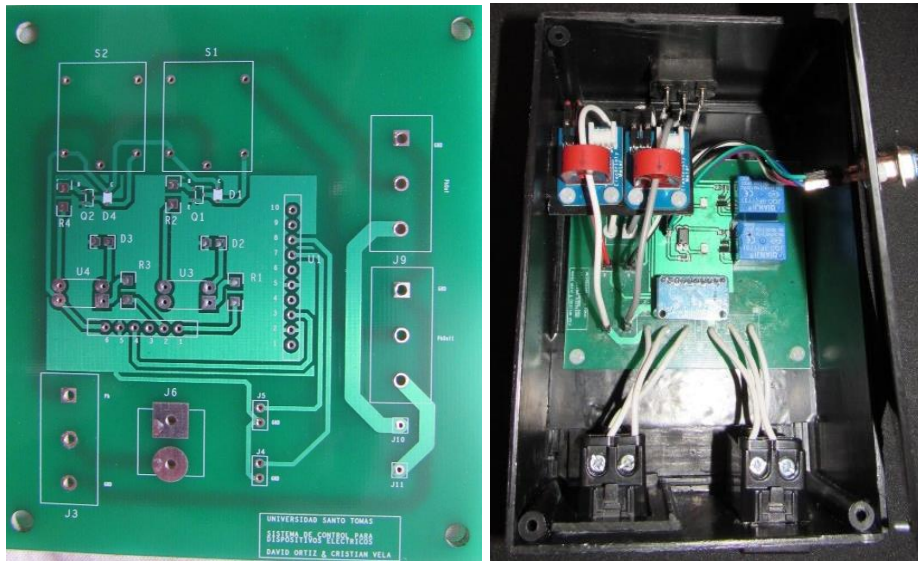


Figura 31. Capturas de pantalla de los Campos 3 y 6 (a y b, respectivamente) con su estado actual de conexión.

Para cerrar el aplicativo móvil se debe situar en las pantallas de Inicio o Registro, desplegar el menú lateral y pulsar el botón de **Salir**. Si está ubicado desde la pantalla de Inicio, se puede cerrar el aplicativo con el botón de **Atrás** del dispositivo móvil. Antes de salir, emergerá un aviso informativo con el siguiente mensaje: “¿Está seguro que quiere cerrar la aplicación?”, cuya opción con el botón “si” cerrará el aplicativo.

6.2 Implementación del sistema de medición y control de energía eléctrica para dispositivos eléctricos

Para la implementación del circuito electrónico del sistema de medición y control para dispositivos eléctricos y electrónicos, se realiza un boceto del mismo en una baquela universal (figura 32) para dos cargas eléctricas. Para la prueba de este ensamblaje, se usan dos bombillos de 220 V con potencias de 10W y 25W respectivamente, con el fin de controlar ambas cargas de manera independiente y simultánea desde el aplicativo móvil.



(a)

(b)



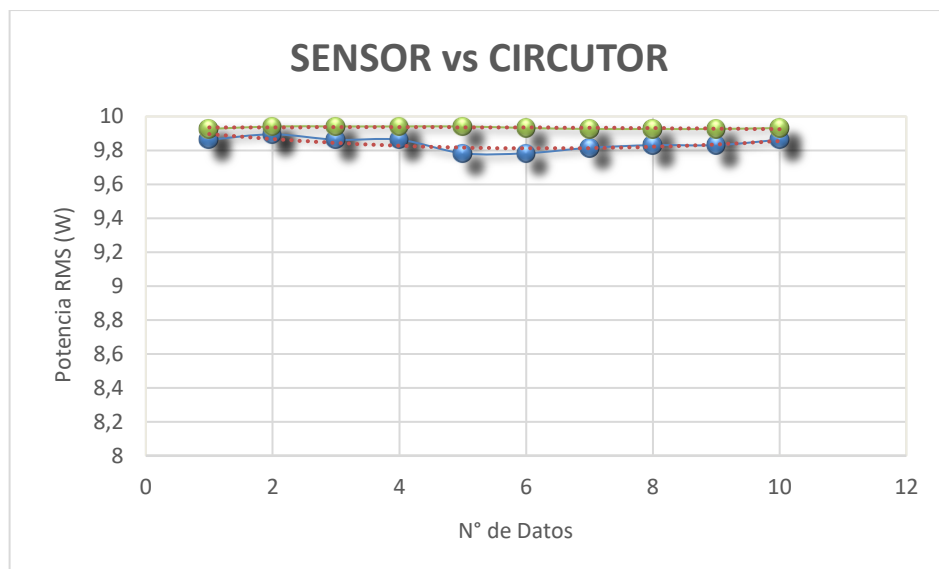
(c)

Figura 32. Sistema de control de encendido y apagado controlado por una tarjeta de desarrollo basado en microprocesadores para un dispositivo eléctrico.

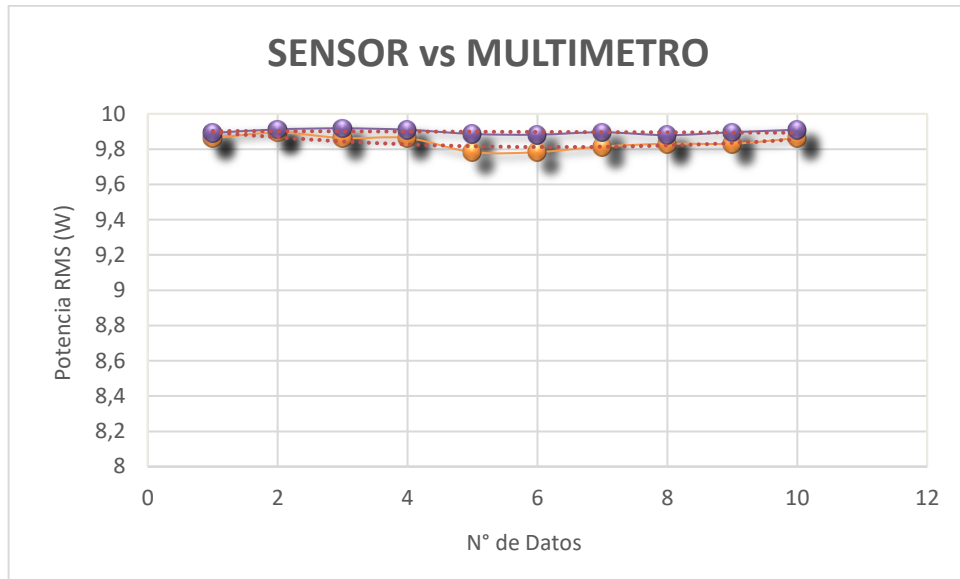
Usando dispositivos de medición de variables eléctricas, como el Circutor serie CVM-C10 y un multímetro universal, se mide la potencia del bombillo eléctrico de 10W, en busca de caracterizar el sensor de medición para el circuito eléctrico correspondiente al sistema de control diseñado para este proyecto de tesis. Con base a estos resultados, se hace una tabla comparativa de calibración del sensor respecto a los dos instrumentos de medición.

MEDICION DE POTENCIA ELECTRICA (Wh)				
SISTEMA DE CONTROL	CIRCUTOR	MULTIMETRO	CALIBRACION CON CIRCUTOR	CALIBRACION CON MULTIMETRO
9,86265	9,926	9,892	6,33%	2,93%
9,894465	9,941	9,912	4,65%	1,75%
9,86265	9,941	9,918	7,84%	5,53%
9,86265	9,941	9,91	7,84%	4,73%
9,7831125	9,941	9,886	15,79%	10,29%
9,7831125	9,932	9,882	14,89%	9,89%
9,8149275	9,926	9,896	11,11%	8,11%
9,830835	9,926	9,879	9,52%	4,82%

Tabla 2. Tabla de indicadores de calibración del sistema de medición.



Grafica 1. Gráfica comparativa entre el sensor de medición del sistema de control y el Circutor.



Grafica 2. Gráfica comparativa entre el sensor de medición del sistema de control y un multímetro.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En esta sección se presentan las conclusiones convenientes frente a los resultados obtenidos durante el diseño y desarrollo del sistema de control de consumo excesivo de energía eléctrica para dispositivos eléctricos y electrónicos, destacando de igual manera las mejoras implementadas y los trabajos futuros que se podrían desarrollar a partir de este proyecto.

7.1 Conclusiones

El diseño y la implementación del circuito electrónico que realiza la medición de potencia y el control de las cargas eléctricas, cumple con el objetivo planteado y los requisitos necesarios para este proyecto de tesis. Dada sus características de diseño, permite un funcionamiento seguro, confiable y sencillo, al tiempo que ofrece protección tanto a las cargas eléctricas conectadas al sistema como a la tarjeta de desarrollo Raspberry PI.

Por contraste, durante el diseño e implementación del sistema de control, se decidió utilizar el sensor de corriente para cargas AC TA12-100 (sección 5.4.3.2) sobre el sensor de corriente lineal de efecto Hall ADS758, debido a que los resultados obtenidos de corriente, usando este último, no fueron precisos, lo que presentaba inconvenientes al calcular el valor de potencia real. En tanto, el sensor no invasivo de corriente AC TA12-100, diseñado en base a un sistema eficiente de inducción electromagnética, mejoró de forma notable las mediciones de la variable eléctrica, obteniendo así datos confiables en el rango de medición establecido.

En otro orden de ideas, la implementación del aplicativo móvil para sistemas operativos Android como interfaz para la visualización de parámetros eléctricos relacionados con el consumo de energía eléctrica de un electrodoméstico fue fundamental, puesto que el diseño del mismo se logró a fines de ser práctico y apto para todos, considerando las políticas de seguridad tanto del usuario como del canal de información de la nube digital de la plataforma web Thingspeak. Adicionalmente, esta interfaz permite controlar remotamente el consumo de energía del dispositivo eléctrico.

Por otra parte, el uso de un microprocesador como medio de comunicación para el circuito electrónico y el aplicativo móvil fue sustancial en el desarrollo de este sistema de control de dispositivos eléctricos. La versatilidad de uso y las características que posee la tarjeta Raspberry Pi, usada en este proyecto de tesis, permitió la ejecución de múltiples acciones y tareas para la lectura del parámetro eléctrico y, de igual forma, facilitó el envío de datos a la nube digital con la conexión de éste y la plataforma web Thingspeak.

Finalmente, el objetivo general se cumple satisfactoriamente, siendo este proyecto de tesis un modelo de diseño e implementación como alternativa de solución frente a los problemas de consumo excesivo de energía eléctrica, basado en el internet de las cosas. A su vez, se proyecta como un modelo para concientizar a la comunidad del ahorro y el uso adecuado

de cada uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos que dependen del consumo de energía eléctrica.

7.2 Trabajos futuros

1. Programar, desde la plataforma de Firebase, la autenticación de los registros de la base de datos para el aplicativo móvil con base a cuentas individuales basadas en contraseñas, integrando sistemas de autenticación personalizadas usando el SDK (Software Development Kit) de Firebase Authentication. Este sistema se puede integrar para los sistemas operativos móviles IOS y Android, y programar mediante servidores web o programas de desarrollo con lenguaje de programación C++ y Unity para sistemas de autenticación con base a un usuario y contraseña, o incluso para sistemas con proveedores de identidad federada, ejemplo Google, Facebook, Twitter y Github, con el fin de brindar un mecanismo de identificación eficiente para todos los usuarios y una validación de certificados para el aplicativo móvil.
2. Resulta conveniente cambiar el método de medición de potencia eléctrica. Aunque el método usado es fiel a la realidad y relativamente sencillo de implementar, es poco práctico en términos de multifuncionalidad si se quiere comercializar, y dada las diversas aplicaciones que se podrían implementar en base a este proyecto es conveniente buscar un método más adecuado. El uso de integrados especializados en la medición de potencia en corriente alterna es la mejor opción. Sin embargo, dado que la potencia a manejar es considerablemente alta, la mayoría de integrados en el mercado no son aplicables a este proyecto. Es cuestión de tiempo para que se haga el desarrollo de un dispositivo que cumpla las especificaciones necesarias para poder desarrollarse en el mercado tecnológico.
3. Pese a que App Inventor resulta ser una plataforma de desarrollo de software gratis, de sencillo uso, con un entorno web amigable y dinámico y con un lenguaje de programación imperativo y gráfico, es muy limitado y no es tan flexible como lo es el código Java, ya que no es compatible con otros componentes de desarrollo (como el SDK), por lo que resulta difícil el desarrollo de aplicaciones con un mayor nivel de complejidad. También es conveniente destacar que esta plataforma solo permite el desarrollo de aplicaciones móviles que operen conectándose a internet.
4. Como la programación informática del aplicativo móvil se efectúa desde un navegador, acarrea consigo que el ordenador sufra de limitaciones con la potencia del procesador, es decir que se llene la memoria RAM, volviéndolo en un equipo lento después de horas de uso. Por tal motivo, es recomendable

utilizar un programa como aplicación para el ordenador como plataforma de programación para el desarrollo de estas aplicaciones de software libre.

5. Pese a que la plataforma IoT de Thingspeak es de fácil acceso y manejo de datos, sus características limitan el funcionamiento óptimo de este sistema. Resulta conveniente cambiar o las condiciones de uso de la plataforma, implementando un método de pago para tener acceso completo a sus funciones, o cambiar la plataforma de almacenamiento de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E-URE - USO RACIONAL DE ENERGÍA. (Febrero de 2017). Gestión e Indicadores Energéticos. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/16/inicio.html>
- [2] JADHAV, R. V., LOKHANDE, S. S., & GOHOKAR, V. N. (2016). Energy Management System in Smart Grid using Internet of Things. Pune, India: IEEE International Conferences.
- [3] ANSYS INC. (2010). Energy Efficiency IoT-Based Smart Home. Canonsburg, PA, USA.
- [4] HÜLS, J., & REMKE, A. (2016). Energy storage in Smart Homes: Grid-convenience versus self-use and survivability. Münster, Alemania: IEEE 24th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems.
- [5] NOORWALI, A., RAO, R., & SHAMI, A. (2012). Wireless Home Area Networks in Smart Grids: Modelling and Delay Analysis. Londres, Inglaterra: Innovation Centre for Information Engineering (ICIE).
- [6] VISCONTI, P., & PRIMICERI, P. (2016). Wireless monitoring and driving system of household facilities for power consumption savings remotely controlled by Internet. Lecce, Italia: Cavaleria s.r.l.
- [7] ROBAYO DÍAZ, C. D. (2014). Estimación de Indicadores de Eficiencia Energética en Sistemas Domésticos de Energía Eléctrica Sobre Plataforma Android. Bogotá DC, Colombia: LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- [8] W RADIO. (10 de Marzo de 2016). Alcaldía de Bogotá lanza campaña para ahorro de energía. Obtenido de <http://www.wradio.com.co/noticias/bogota/alcaldia-de-bogota-lanza-campana-para-ahorro-de-energia/20160310/nota/3080919.aspx>
- [9] ELEMENT14. (7 de Noviembre de 2017). *Raspberry PI 3 GPIO Header*. Obtenido de https://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/previewBody/73950-102-11-339300/pi3_gpio.png
- [10] PYTHON.org. (3 de Febrero de 2018). *Documentation. Internet Protocols and Support*. Obtenido de <https://docs.python.org/2/library/urllib2.html>
- [11] PYTHON.org. (3 de Febrero de 2018). *Documentation. Internet Data Handling*. Obtenido de <https://docs.python.org/2/library/json.html>
- [12] STACK OVERFLOW. (Noviembre de 2009). *What does %s mean in Python?* Obtenido de <https://stackoverflow.com/questions/997797/what-does-s-mean-in-python>

- [13] MICROSOFT DOCUMENTS. (2015). *Casting and Type Conversions (C# Programming Guide)*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/programming-guide/types/casting-and-type-conversions>
- [14] FIREBASE. (26 de Febrero de 2018). *Cómo comenzar con las reglas para Database*. Obtenido de <https://firebase.google.com/docs/database/security/quickstart?authuser=0>
- [15] MIT APP INVENTOR. (Enero de 2013). *Storage - App Inventor for Android*. Obtenido de <http://ai2.appinventor.mit.edu/reference/components/storage.html#tinydbmethods>
- [16] MIT APP INVENTOR. (Abril de 2017). *Connect your Phone or Tablet over WiFi*. Obtenido de <http://appinventor.mit.edu/explore/ai2/setup-device-wifi.html>
- [17] THE MATHWORKS, INC. (Marzo de 2018). *Write Data - Update channel data with HTTP GET or POST*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/help/thingspeak/writedata.html>
- [18] THE MATHWORKS, INC. (2018). *Read Field - Read data from a single field of a channel with HTTP GET*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/help/thingspeak/readfield.html>
- [19] CISCO SYSTEMS. (Marzo de 2018). *Soluciones: El Internet de las Cosas (IoT)*. Obtenido de https://www.cisco.com/c/es_co/solutions/internet-of-things/overview.html
- [20] CODENSA S.A. (Enero de 2017). *Simulador de consumo de energía*. Obtenido de <http://simulador.micodensa.com/index.php/main/viewSimulator>
- [21] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2016). *Potencial energético colombiano para la generación de energía y su óptimo aprovechamiento*. Obtenido de https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/iaao/5-_INM_UPME_Energias_Renovables_Nov_6_2014_Version_Final.pdf
- [22] RASPBERRY PI ORG. (2018). *Raspberry PI ZERO W Documentation*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>
- [23] GREENPEACE COLOMBIA. (3 de Enero de 2017). *Cómo ahorrar energía y ayudar al planeta*. Obtenido de <http://www.greenpeace.org/colombia/es/Blog/eficiencia-energetica-cambio-climtico-energia-a/blog/58421/>
- [24] MILLER, P. (Marzo de 2009). NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE - *Ahorra Energía: Ayuda a detener el calentamiento global*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2009/03/energy-conservation/>
- [25] FACEBOOK. (Enero de 2013). *Campaña de Concientización sobre el Ahorro de Energía*. Obtenido de <https://www.facebook.com/ahorraenergiaecuador/>
- [26] SOCOLOW, R., PACALA, S., & HOTINSKI, R. (2004). *Solving the Climate Problem: Technologies Available to Curb CO2*. Kyoto: Publicaciones Science.

- [27] CISCO SYSTEMS. (Abril de 2018). *Soluciones de IoT: Gobierno*. Obtenido de https://www.cisco.com/c/es_co/solutions/industries/government.html
- [28] CISCO SYSTEMS. (Abril de 2018). *Digital Network Architecture (DNA) for Education*. Obtenido de https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/industries/education/dna-education/index.html
- [29] CISCO SYSTEMS. (Abril de 2018). *Soluciones de IoT: Manufactura de equipos*. Obtenido de https://www.cisco.com/c/es_co/solutions/industries/manufacturing.html
- [30] CISCO SYSTEMS. (Abril de 2018). *Solutions: DNA for Cities*. Obtenido de <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/dna-cities.html>
- [31] RASPBERRY PI ORG. (Enero de 2018). *SD Cards Documentation*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/sd-cards.md>
- [32] RASPBERRY PI ORG. (Diciembre de 2017). *Raspberry PI 3 Model Documentation*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [33] THE MATHWORKS, INC. (Abril de 2018). *The Open IoT Platform with MATLAB Analytics*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/products/thingspeak.html>
- [34] REGLAMENTO TÉCNICO DE ETIQUETADO -RETIQ-. (Marzo de 2014). *Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. Bogotá.
- [35] ETIQUETADO ENERGETICO COLOMBIA. (16 de Julio de 2016). *Proyecto de Normalización y Etiquetado en Eficiencia Energética en Colombia*. Obtenido de <http://www.etiquetaenergetica.gov.co/?p=1644>
- [36] PERIODICO EL TIEMPO. (28 de Marzo de 2016). *Campaña "Apagar Paga" Ahorro de energía de los colombianos fue de 5,85% el domingo*. Obtenido de Economía: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16547829>
- [37] HENRY'S BENCH. (Abril de 2018). *TA12-100 Arduino AC Current Sensor Tutorial*. Obtenido de <http://henrysbench.cpnfatz.com/henrys-bench/arduino-current-measurements/ta12-100-arduino-ac-current-sensor-tutorial/>
- [38] CONSUMER EROSKI. (19 de Marzo de 2009). *Vampiros eléctricos en los hogares: cómo combatirlos*. Obtenido de http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/03/19/184128.php
- [39] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2015). *Normalización y Etiquetado de Eficiencia Energética en Colombia (N & E Colombia)*. Obtenido de Estudio sobre la estructura del mercado nacional de equipos sujetos al proyecto de RETIQ, y el comportamiento del mercado frente a la inclusión del etiquetado obligatorio de parámetros de eficiencia energética. Pag. 207:

http://www.etiquetaenergetica.gov.co/wp-content/uploads/2015/11/Estudio_Estructura_y_Transformacion_del_Mercado_Equipos_RETIQ.pdf

- [40] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. (2017). *Energía Eléctrica SIN (Sistema Interconectado Nacional)*. Obtenido de <http://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/PETROLEO.aspx>

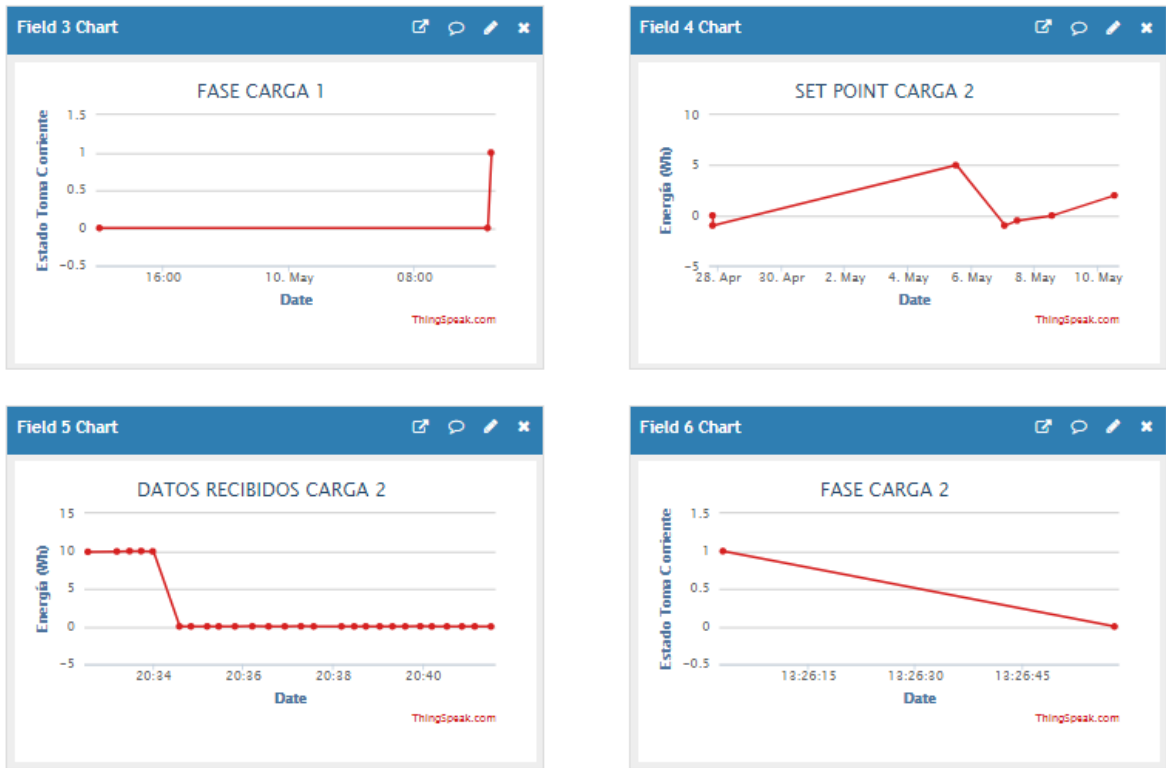


Figura 3. Plataforma web Thingspeak con canales de información 3, 4, 5 y 6.

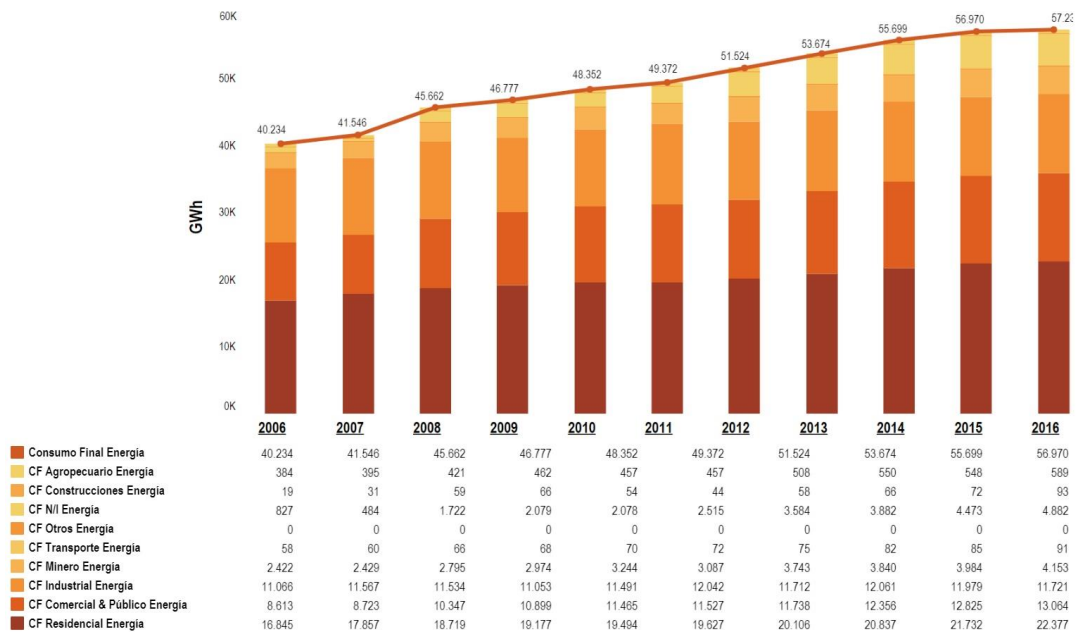


Figura 4. Consumo de energía eléctrica por sectores en Colombia.

8.2 Anexo 2

En este apartado se adjunta el código de programación para el sistema de medición y control de energía eléctrica de dispositivos eléctricos basado en microprocesadores en la plataforma de desarrollo Python.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import time # Import the Time module.int
import math # Python math module
import urllib2,json # Python Json & URL format modules
import RPi.GPIO as GPIO # Import the ADS1x15 module.
import Adafruit_ADS1x15 # Create an ADS1115 ADC (16-bit) instance.
import urllib2 # Sistema de numeración de Pines.
adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115() # Puerto Gpio14 configurado de salida
GPIO.setmode(GPIO.BCM) # Puerto Gpio14 apagado
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(14,GPIO.OUT)
GPIO.output(14,GPIO.LOW)
GPIO.setup(15,GPIO.OUT)
GPIO.output(15,GPIO.LOW)
myAPI = "FJ3XHF5LRL6J6IJV" # API Key
mychanID=307366 # Channel ID
pga=2/3 # Ganancia ADC
sps=860.0 # Data Rate
offset=0 # Channel Offset
SP=0
SP2=0
num = int((1.0/60.0)*4/(1.0/sps)) # Frecuencia de muestreo a 60 Hz
value = adc.read_adc(0, pga, sps) # Lectura módulo ADS1115 ADC (16-bit)

def Readsetpoint(RMS,RMS2):

    baseURL = "https://api.thingspeak.com/update?api_key=%s" % myAPI # Base URL
    H = urllib2.urlopen("http://api.thingspeak.com/channels/%s/feeds/last.json?
api_key=%s"% (mychanID,myAPI))
    response = H.read() # Abrir URL de thingspeak en modo lectura
    H.close()
    data = json.loads(response) # Datos en formato json (JavaScript)
    SP12 = data['field3'] # Lectura de dato del campo 3
    print SP12
    if SP12<>None:
        SP=float(SP12)
        if SP==0:
            GPIO.output(14,GPIO.HIGH)
            print "Carga 1: GPIO UP"
        else:
            print "Carga 1: GPIO DOWN"
            GPIO.output(14,GPIO.LOW)

    SP22 = data['field6'] # Lectura de dato del campo 6
    print SP22
    if SP22<>None:
```

```

SP2=float(SP22)
if SP2==0:
    GPIO.output(15,GPIO.HIGH)
    print "Carga 2: GPIO UP"
else:
    print "Carga 2: GPIO DOWN"
    GPIO.output(15,GPIO.LOW)

time.sleep(1)
try:
    # Solicitud de apertura para escritura
    f = urllib2.urlopen(baseURL +"&field2=%s&field5=%s" % (RMS,RMS2))
    f.close()
except:
    print "error"
def RMSCurrent(dr,V):
    data=[]
    data2=[]
    # Array almacenar datos medidos
    while dr<num:
        value = adc.read_adc(0, pga, sps) # Lectura del módulo ADC
        value2 = adc.read_adc(1, pga, sps)
        voltage=(value*0.1875)/1000 # Formula conversión Voltaje de ADC
        voltage2=(value2*0.1875)/1000
        corriente=(voltage/100)*100 # Corriente Pico-Pico del Sensor de
Corriente
        corriente2=(voltage2/100)*100
        Amps=corriente*0.707 # Corriente RMS
        Amps2=corriente2*0.707
        data.append(str(Amps)) # Arreglo de datos de la Corriente RMS
        data2.append(Amps2)
        dr+=1
    maximo = float(max(data))*120 # Potencia RMS tipo float
    maximo2 = float(max(data2))*120
    print "El valor Potencia es (W): " + str(maximo) + ", " + str(maximo2)
    Readsetpoint(maximo,maximo2) # Envío de datos de potencia RMS
while True:
    dr=0
    V=0.0
    RMSCurrent(dr,V)
    time.sleep(5)

```