



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES

TEMA:

“SISTEMA DE MONITOREO Y TELEGESTIÓN DEL CONSUMO
ELÉCTRICO EN CARGAS RESIDENCIALES BASADO EN UNA
ARQUITECTURA IoT.”

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de
Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Electrónicos

AUTOR: Luis Fernando Carrasco Chipantiza

TUTOR: Ing. Edgar Patricio Córdova Córdova, Mg

Ambato - Ecuador


Octubre, 2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema:

“SISTEMA DE MONITOREO Y TELEGESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN CARGAS RESIDENCIALES BASADO EN UNA ARQUITECTURA IoT”, del señor Luis Fernando Carrasco Chipantiza, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Octubre de 2018



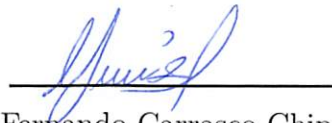
EL TUTOR

Ing. Patricio Córdova Córdova, Mg.

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado “SISTEMA DE MONITOREO Y TELEGESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN CARGAS RESIDENCIALES BASADO EN UNA ARQUITECTURA IoT”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Octubre de 2018



Luis Fernando Carrasco Chipantiza

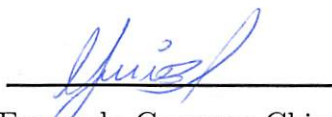
CC: 1804630174

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Octubre de 2018



Luis Fernando Carrasco Chipantiza

CC: 1804630174

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Alberto Ríos Villacorta, Ph.D. e Ing. Fabián Salazar Escobar, Ph.D., revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado "SISTEMA DE MONITOREO Y TELEGESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN CARGAS RESIDENCIALES BASADO EN UNA ARQUITECTURA IoT", presentado por señor Luis Fernando Carrasco Chipantiza de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Alberto Ríos Villacorta, Ph.D.
DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Fabián Salazar Escobar, Ph.D.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación va dedicado a Dios por darme los sueños, siempre es más de lo que podría haber imaginado, por ser determinante al momento de alcanzar cada meta trazada en mi vida.

A mi madre Norma por su paciencia, por constituirse en los cimientos sobre los cuales mi vida ha sido edificada, por aquellos días difíciles en los que tomaba mi mano para hacerlos más llevadero.

A mi hermana Lissette por su infinito amor hacia mí.

A esas personas que siempre me hicieron saber que no estaba solo, que me enseñaron que siempre hay esperanza, que todo es posible para el que cree, a mis maestros que han sabido guiarme con sus conocimientos en el transitar de mi vida académica.

Fernando Carrasco

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por su gracia y amor, por regalarme los argumentos, la convicción y la oportunidad de cumplir con cada uno de mis objetivos, pero sobre todo por rodearme de un maravilloso hogar, que ha sabido forjarme como un hombre de bien.

A mi madre por su apoyo incondicional en mi vida académica, por regalarme su esfuerzo, sus mejores años, por motivarme a ser mejor cada día.

A mi tutor Ing. Patricio Córdova Mg. por ser mi soporte académico, compartirme sus conocimientos, por guiarme y ser parte fundamental en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

A mi querida FISEI, por permitirme ser parte de su historia y acogerme en sus aulas llenas de enseñanzas, por sembrar diariamente nuevos conocimientos, parte esencial de mi formación como profesional.

Fernando Carrasco

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORA	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Introducción	xvii
CAPÍTULO 1 EL PROBLEMA	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Delimitación	3
1.4 Justificación	4
1.4.1 General	5
1.4.2 Específicos	5
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes Investigativos	6
2.2 Fundamentación Teórica	8
2.2.1 Sistemas de Monitoreo del Consumo Eléctrico	8
2.2.2 Telegestión	9
2.2.3 Smart Meters	10
2.2.4 Energía Eléctrica	11
2.2.5 Cargas Eléctricas Residenciales o Domésticas	13
2.2.6 Tarifa Residencial	15
2.2.7 Internet de la Cosas	16

2.2.8	Wireless Sensor Networks (WSN)	26
2.2.9	Servidor LAMP	27
2.3	Propuesta de solución	27
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA		28
3.1	Modalidad Básica de la investigación	28
3.2	Población y Muestra	28
3.3	Recolección de la Información	28
3.4	Procesamiento y Análisis de Datos	28
3.5	Desarrollo de proyecto	29
CAPÍTULO 4 DESARROLLO DE LA PROPUESTA		31
4.1	Análisis de cargas residenciales	32
4.2	Análisis y Selección de Hardware	36
4.3	Diseño del Sistema de Monitoreo y Telegestión	50
4.3.1	Acondicionamiento de Señales	51
4.3.2	Procesamiento de datos	57
4.3.3	Flujogramas de Procesos	59
4.3.4	Almacenamiento de información	62
4.3.5	Interfaz de Visualización	63
4.4	Ensamblaje del prototipo	66
4.4.1	Diagrama Esquemático	67
4.4.2	Diagrama PCB	67
4.4.3	Placa Electrónica	68
4.5	Pruebas de Funcionamiento	69
4.6	Resultados	78
4.7	Presupuesto	83
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		85
5.1	Conclusiones	85
5.2	Recomendaciones	86
Bibliografía		87
ANEXOS		95

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Costo kWh [23].	16
2.2	Dispositivos IoT [26].	18
2.3	Protocolos Capas de Comunicación [26].	22
4.1	Tabla Cargas Residenciales [31].	33
4.2	Tabla Consumo eléctrico en standby [32].	33
4.3	Tabla Sistema Nominal de Voltajes ANSI C84.1 [32].	35
4.4	Límites de Voltaje Nominal [33].	36
4.5	Tabla Comparativa Sensores de Corriente.	38
4.6	Tabla Comparativa Sensores de Voltaje.	41
4.7	Tabla Comparativa de Microcontroladores.	44
4.8	Tabla Comparativa Computadores de placa única.	47
4.9	Tabla Comparativa Tecnologías Inalámbricas.	50
4.10	Valores de voltaje muestreados.	55
4.11	Valores recalculados de voltaje.	57
4.12	Tabla Comparativa Sistemas Operativos IoT.	62
4.13	Análisis Valores Voltaje Alterno.	79
4.14	Análisis Valores Corriente Alterna.	80
4.15	Presupuesto de Construcción del Prototipo.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Fundamentación del Marco Teórico.	8
2.2	Diagramas fasorial y vectorial, carga resistiva [22].	14
2.3	Diagramas fasorial y vectorial, carga inductiva [22].	14
2.4	Diagramas fasorial y vectorial, carga capacitiva [22].	15
2.5	Arquitectura Básica IoT [26].	19
2.6	Arquitectura Multinivel IoT [28].	20
4.1	Etapas de Desarrollo.	31
4.2	Sensor de corriente ACS712ELCTR-20A-T.	37
4.3	Sensor de corriente ACS714 ELCTR-30A-T[35].	37
4.4	Sensor SCT-013-000.	38
4.5	Módulo DSN-DVM-568AC[38].	39
4.6	Módulo AC ZMP101B[39].	40
4.7	Sensor CE-VJ03-32MS2-0.5C[40].	40
4.8	Particle Photon[41].	42
4.9	Arduino Pro Mini[42].	42
4.10	Tessel 2 [44].	43
4.11	Raspberry Pi 3 Modelo B Plus [45].	45
4.12	BeagleBone Black [47].	46
4.13	DragonBoard 410c [49].	46
4.14	Diseño del Sistema de Monitoreo y Telegestión.	51
4.15	Sensor de corriente ACS712 ELCTR-20A-T.	52
4.16	V_o vs I_P - Sensibilidad vs I_P	52
4.17	Descripción de componentes del sensor DSN-DVM-568AC.	53
4.18	Valores linealizados de voltaje AC.	56
4.19	Esquema procesamiento de Datos.	58
4.20	Circuito de Protección.	58
4.21	Circuito fuente de Alimentación.	58
4.22	Flujograma adquisición de Corriente.	59
4.23	Flujograma adquisición de Voltaje.	60
4.24	Flujograma Transmisión de la Información.	61

4.25	Página principal sistema de Monitoreo y Telegestión.	64
4.26	Interfaz magnitudes eléctricas.	65
4.27	Interfaz consumo energético.	66
4.28	Diseño 3D del Prototipo.	66
4.29	Circuito Esquemático Prototipo.	67
4.30	Diagrama PCB Prototipo.	68
4.31	Placa Electrónica.	68
4.32	Prototipo Ensamblado.	69
4.33	Valores dispositivos certificados (plancha doméstica).	70
4.34	Corriente consumida por una plancha doméstica.	70
4.35	Voltaje consumido por una plancha doméstica.	71
4.36	Potencia consumida por una plancha doméstica.	71
4.37	Valores dispositivos certificados (Lavadora).	72
4.38	Corriente consumida por una Lavadora.	72
4.39	Voltaje consumido por una Lavadora.	73
4.40	Potencia consumida por una Lavadora.	73
4.41	Valores dispositivos certificados (Televisor).	74
4.42	Corriente consumida por un Televisor.	74
4.43	Voltaje consumido por un Televisor.	75
4.44	Potencia consumida por un Televisor.	75
4.45	Valores dispositivos certificados (Router Tp-Link).	76
4.46	Corriente consumida por un Router Tp-Link.	76
4.47	Voltaje consumido por un Router Tp-Link.	77
4.48	Potencia consumida por un Router Tp-Link.	77
4.49	Generación de reportes.	81
4.50	Gestionamiento de cargas eléctricas.	82

RESUMEN

En la presente investigación se realiza el diseño y construcción del prototipo de un dispositivo que permita monitorear el consumo energético de las cargas eléctricas en el sector residencial. El sistema está formado por nodos de sensores que se encargan de monitorear tanto la corriente como el voltaje y enviarlos hacia una base de datos alojada en un servidor Raspbian a través del protocolo de comunicación HTTPS. Los datos monitoreados pueden ser visualizados en un interfaz IoT mediante gráficas del consumo energético diario, semanal y mensual desarrollado a través de Atom y complementos como Highcharts; adicionalmente se pueden generar reportes con el total de kilovatios hora consumidos al final del mes y el costo total por el servicio. Una característica importante del prototipo es que mediante la Telegestión permite activar o desactivar el paso de la energía hacia las cargas conectadas al dispositivo, de esta manera se logra tener un control adecuado del consumo energético en el hogar con la finalidad de promover la eficiencia energética y disminuir los gastos por el pago del servicio energético. La información puede ser visualizada desde cualquier dispositivo terminal conectado a la red de sensores.

Palabras clave: IoT, Monitoreo, Telegestión, cargas eléctricas, sector residencial.

ABSTRACT

In the present investigation the design and construction of the prototype of a device that allows to monitor the energy consumption of the electric loads in the residential sector is carried out. The system consists of sensor nodes that are responsible for monitoring current and voltage and send them to a database hosted on a Raspbian server through the HTTPS communication protocol. The monitored data can be visualized in a graphical IoT interface of the daily, weekly and monthly energy consumption, the interface is developed through Atom and complements such as Highcharts; additionally you can generate reports with the total kilowatt hours consumed at the end of the month and the total cost for the service. An important feature of the prototype is that by means of telemanagement it allows activating or deactivating the passage of energy to the loads connected to the device, in this way it is possible to have an adequate control of energy consumption in the home in order to promote energy efficiency and decrease expenses for the payment of the energy service. The information can be viewed from any terminal device connected to the sensor network.

Keywords: IoT, Monitoring, Telemanagement, electric loads, residential sector.

Glosario de Términos y Acrónimos

- A/D: Analógico/Digital (Analog/Digital)
- ADC: Analog to Digital Converter (Convertidor Analógico a Digital)
- AIE: Agencia Internacional de Energía
- AMPQ: Advanced Message Queuing Protocol
- ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute)
- ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad
- CCK: Clave de código complementario (Complimentary Code Keying)
- CoAP: Protocolo de aplicación restringida (Constrained Application Protocol)
- CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad
- GLP: Gas Licuado de Petróleo
- GPIO: Entrada/Salida de Propósito General (General Purpose Input/Output)
- GPRS: Servicio general de paquetes vía radio (General Packet Radio Service)
- HAN: Red de área doméstica (Home Area Network)
- HTTP: Protocolo de transferencia de hipertexto (Hypertext Transfer Protocol)
- HTTPS: Protocolo seguro de transferencia de hipertexto (Hypertext Transport Protocol Secure)
- HVAC: Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (Heating, Ventilating and Air Conditioning)
- IEEE: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
- INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
- IoT: Internet de las cosas (Internet of Things)

- kWh: Kilovatio – hora
- MIMO: Múltiples entradas – Múltiples salidas (Multiple Input Multiple Output)
- MQTT: Message Queue Telemetry Transport
- NAT: Enmascaramiento de IP (Network Address Translation)
- OFDM: Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access)
- OSI: Modelo de interconexión de sistemas abiertos (Open System Interconnection)
- PHP: Procesador de hipertexto (Hypertext Preprocessor)
- PWM: Modulación por ancho de pulsos (Pulse Wide Modulation)
- RAM: Memoria de acceso aleatorio (Random Access Memory)
- RFID: Identificación por Radiofrecuencia (Radio Frequency IDentification)
- SGE: Sistema de gerenciamiento de energía
- WAN: Red de área amplia (Wide Area Network)
- WICED: Conectividad inalámbrica a Internet para dispositivos integrados (Wireless Internet Connectivity for Embedded Devices)
- XMPP: Protocolo extensible de mensajería y presencia (Extensible Messaging and Presence Protocol)

INTRODUCCIÓN

Es fundamental la influencia que tiene la energía eléctrica en el desarrollo y el crecimiento económico de un país; constituyéndose en el eje de las industrias, el transporte, pero sobretodo en los sistemas productivos. Asimismo, se caracteriza por ser un pilar fundamental de los hogares, mejorando los niveles de vida. La Agencia Internacional de Energía (AIE), estima que el consumo de energía en el sector residencial alcanza el 19 % de la demanda total de energía producida a nivel global [1].

Los desafíos del sector energético en relación al sector residencial es disminuir al máximo el empleo de recursos contaminantes, por tecnologías más eficientes que garanticen el suministro energético sin depender de la volatilidad de los precios. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de estrategias y políticas de eficiencia energética que ayuden a reducir el consumo eléctrico, además de los costos económicos.

El presente proyecto de investigación tiene como propósito ayudar a monitorear y gestionar el consumo eléctrico en cargas domésticas, a través de una arquitectura IoT; el mismo que consta de cinco capítulos los cuales se detallan a continuación:

El Capítulo I está estructurado de tal forma que expone la importancia del sector eléctrico en el desarrollo y el crecimiento de la sociedad, así como la justificación que sustenta al presente proyecto de investigación y los objetivos a cumplirse.

En el Capítulo II se detalla un análisis previo referente a los trabajos investigativos que abordan temáticas relacionadas con el monitoreo de las señales eléctricas en corriente alterna, Internet de las cosas, también consta la fundamentación teórica que sustenta el proyecto de investigación; concluyendo en la propuesta que dará solución al problema planteado.

El Capítulo III presenta información referente a la metodología y a las actividades utilizadas para la ejecución del proyecto.

El Capítulo IV está compuesto por la parte más importante del proyecto debido

a que describe de manera detallada y exhaustiva el desarrollo del sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico en cargas residenciales basado en una arquitectura IoT.

Finalmente, en el Capítulo V se señalan las conclusiones establecidas en el desarrollo del proyecto de investigación; se incluye también las respectivas recomendaciones que faciliten la elaboración trabajos investigativos en lo posterior.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1. Tema de Investigación

“SISTEMA DE MONITOREO Y TELEGESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN CARGAS RESIDENCIALES BASADO EN UNA ARQUITECTURA IoT.”

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la energía eléctrica cumple un papel trascendental en la sociedad porque es un elemento indispensable al permitir el desarrollo de procesos tecnológicos, actividades que apoyan el crecimiento económico y al buen vivir de la humanidad, por lo que es muy importante concientizar sobre el uso eficiente de la misma.

Al no tener un control adecuado del consumo energético en el sector residencial se incrementan los costos, que asociados al mal uso que se les da a los diferentes aparatos eléctricos, que aun sin cumplir su ciclo de vida normal tienen que ser desechados dando origen a la contaminación ambiental y mayor generación de energía; esto conlleva a la posible escasez de la misma debido al agotamiento de las fuentes de generación.

La Agencia Internacional de Energía (AIE) en el artículo “Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas” del año 2015 menciona que el consumo de energía total residencial a nivel mundial ha aumentado considerablemente. En 2011, cerca del 23 % del consumo final de energía global fue utilizado en el sector residencial mientras que el porcentaje del consumo de energía final total a nivel residencial se mantuvo estable entre 1990 y 2011, el consumo de energía total residencial aumentó un 35 % como resultado de un amplio número de factores, incluyendo el aumento de población, el número de viviendas ocupadas, cambios en el tamaño de las viviendas, el aumento de equipamiento y la mejora del bienestar [2]. El sector residencial incluye todas las actividades que utilizan energía en apartamentos y casas donde se consideran

principalmente dos variables para explicar las tendencias del consumo energético: superficie útil residencial (para la calefacción un 51 %, espacios de refrigeración un 3 %) y número de viviendas ocupadas (en cuanto al calentamiento de agua 17 %, iluminación 3 %, cocción 4 % y electrodomésticos que es la mayor parte del aumento del consumo residencial un 20 %) [1, 2].

En la Región de América Latina los sectores de mayor consumo de energía son: Transporte el 27 %, Industria el 21 % y Residencial el 11 %. El sector residencial utiliza como principal fuente de energía la leña con el 32 %, la electricidad con el 30.2 %, Gas Licuado de Petroleo (GLP) 20.8 % y gas natural con el 14.2 % [3]. El consumo energético en este sector se destina a usos finales como: iluminación, cocción, calentamiento de agua, refrigeración, aire acondicionado, calefacción, fuerza electromotriz y ondas electromagnéticas[4].

Ecuador a pesar de que ha experimentado un crecimiento económico que se traduce en el mejoramiento de la calidad de vida de la población y por tanto un incremento de la demanda interna de energía; en materia energética aún tiene mucho por desarrollarse en base a la utilización de nuevas tecnologías [5].

El Balance Energético Nacional, publicado por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos correspondiente al año 2016, menciona que al 2015 el transporte tuvo una participación del 46 % del total de la energía demandada en los sectores del país, las industrias alcanzaron un 19 % y el sector residencial el 13 %. Sin embargo, en el 2015 existió una reducción del 4 % en el consumo energético sectorial del país comparado con el 2014, a pesar de un incremento en la demanda del transporte (2 %) y de los hogares (1.6 %). Por otro lado de acuerdo al análisis de los sectores económicos por fuente se estimó que en el sector Residencial el Kerosene ocupa un 0.02 %, Gas Natural un 0.018 %, Leña un 13 %, Electricidad 35 % y GLP un 52 % [6].

El consumo de electricidad dentro del sector residencial se encuentra repartido en iluminación 49 %, electrodomésticos principales 46 % y otros dispositivos que pueden ser un secador de pelo, una computadora o pequeños electrodomésticos de cocina. Es así que al año 2016 el consumo de energía fue de 18897.43 GWh, del cual el consumo per cápita fue de 1143.31 kWh/hab [7]. De acuerdo al Balance de Energía de Junio del 2018 se dispone de 23253.72 GWh en los sistemas de distribución teniendo que el consumo de energía a nivel nacional en el sector

residencial es de 7363.38 GWh que representa el 31.67 % de la demanda total de energía en el país [8].

En la provincia de Tungurahua el abastecimiento de energía eléctrica está a cargo de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., en el año 2016 distribuyó 496.63 GWh de energía eléctrica, de los cuales 205.01 GWh estuvo destinado al sector residencial. La cobertura de la misma en los hogares se ha convertido en un servicio básico que genera sus planillas mensuales a partir del consumo total ya sea este residencial, industrial etc. Los usuarios tienen como resultado final la cantidad de energía consumida, añadida los valores de los diferentes impuestos [9].

Además se ha presentado insatisfacción en los usuarios debido a que no tienen valores detallados de la forma y patrones del consumo de la energía. Esto se genera debido al desconocimiento de los valores de consumo de los diferentes equipos eléctricos que pueden tener fallas debido a daños, que afectan al balance de las cargas eléctricas y las instalaciones, generando un aumento del consumo de energía.

Todos los factores mencionados afectan al nivel de pérdidas en los sistemas de transporte y distribución debido a que no hacen uso de políticas de eficiencia energética con respecto a los equipos eléctricos domésticos de forma individual, la falta de tecnología en sistemas de medición eléctricos que permitan tener un adecuado control del consumo energético y el aumento en la facturación de las planillas eléctricas, que es lo que se desea contrarrestar.

1.3. Delimitación

Delimitación de contenidos

Área académica de la Carrera: Física y Electrónica

Línea de investigación: Sistemas Electrónicos

Sublínea de Investigación: Sistemas Embebidos

Delimitación espacial

El proyecto de investigación se desarrollará en el cantón Ambato Provincia de Tungurahua.

Delimitación Temporal

La presente investigación se ha desarrollado en el período Marzo – Agosto 2017 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de graduación para obtener el título terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4. Justificación

A nivel global el desarrollo e implementación de estrategias de ahorro y eficiencia energética ha tomado gran relevancia debido a que se busca satisfacer todas las necesidades de la demanda energética de forma sostenible. La energía eléctrica con su precio en constante aumento y una mayor sensibilidad frente a cuestiones medioambientales es un recurso cada vez más valioso. Esto representa un desafío considerable para los sectores en donde incide de manera decisiva el manejo de energía, la máxima disponibilidad y una reducción permanente de los costos.

El desarrollo de sistemas energéticos inteligentes permite adoptar medidas de adaptación de la demanda. Tecnologías como las infraestructuras de medición avanzada, electrodomésticos inteligentes o medidores inteligentes bidireccionales que permiten gestionar la demanda y ofrecen incentivos para que los consumidores desempeñen un papel activo en los sistemas energéticos. Estas medidas pueden estimular un uso más eficiente de la energía y contribuyen a la gestión de cargas y a la flexibilidad del sistema [10].

Por lo tanto se hace necesario la implementación de un sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico en cargas residenciales basado en una arquitectura IoT, que permita tener un mayor control en el consumo energético residencial, teniendo que el sistema no solo estará orientado a la monitorización de las magnitudes eléctricas, sino que además permitirá identificar imprevistos en el incremento de la demanda de energía, conocer los costos de operación de cada carga eléctrica permitiendo implementar estrategias de ahorro y eficiencia energética.

El presente proyecto de investigación tiene como beneficiarios directos a los dueños de los hogares en el sector residencial en entornos urbanos y rurales, mientras que los beneficiarios indirectos son las empresas distribuidoras de energía, así como los centros de transformación, logrando la implementación de programas de eficiencia enfocados a la utilización de nuevas tecnologías, que permitan tener mejores condiciones de servicio con una reducción del consumo. Además, permitirá

incentivar y ofrecer alternativas para el desarrollo de aplicaciones de monitoreo remoto en otros campos de la economía nacional como salud, agricultura, transporte.

Por todo lo sugerido anteriormente el proyecto de investigación es viable debido a que se cuenta con una alta disponibilidad de recursos necesarios tanto como la Biblioteca, y los diferentes Laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato, además que emplearán tecnologías y redes de sensores inalámbricos asociadas al internet de las cosas, buscando desarrollar un prototipo económico a través de hardware embebido y software libre.

1.4.1. General

Implementar un sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico en cargas residenciales basado en una arquitectura IoT.

1.4.2. Específicos

- Analizar los criterios y sistemas de medición para poder cuantificar el consumo eléctrico.
- Determinar los elementos y requisitos para el diseño y la gestión integrada del consumo eléctrico empleando hardware embebido y software libre.
- Diseñar un prototipo para el monitoreo y telegestión del consumo eléctrico en cargas residenciales.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

Para el desarrollo del presente proyecto se ha llevado a cabo la búsqueda y la recopilación de diferentes trabajos de investigación que están disponibles en los diversos repositorios de las universidades, en las bases de datos de artículos científicos tanto a nivel mundial como local, todos estos relacionados con el monitoreo y control del consumo eléctrico, la administración y manejo de cargas eléctricas además de las diferentes tecnologías que son participes de las diferentes etapas. Los trabajos analizados se los describe a continuación:

En 2018, Mulham B. Soudan, Homam M. Al Rifaie, Taha M. Asmar y Sohaib Majzoub, en el artículo denominado “Smart home energy management system: An exploration of IoT use cases”, diseñan un sistema para resolver el creciente problema del consumo innecesario de energía en el hogar utilizando IoT (Internet de las cosas). El diseño se encarga de monitorear y analizar la energía consumida en el hogar a través de las diferentes tomas de energía utilizando sensores y microcontroladores. La interfaz del diseño incluye una aplicación móvil que actúa como enlace de comunicación entre el sistema y la nube. En la nube, un servidor posibilita el control de los enchufes eléctricos desde dentro y fuera de la casa. Los resultados variaron dependiendo del caso, así se llegó a un ahorro de hasta un 50 % del consumo de energía [11].

En 2018, Danielly B. Avancini, Simion G.B. Martins, Ricardo A.L. Rabelo, Petar Solic y Joel J.P. C. Rodrigues, en el artículo denominado “Flexible IoT Energy Monitoring Solution”, implementan un medidor trifásico inteligente de bajo costo basado en la arquitectura IoT, multiprotocolo y modular, capaz de recopilar, procesar y transmitir la información del consumo energético. Así también desarrollan una plataforma de software específica para gestionar la información recopilada, realizar el análisis y procesamiento de datos. Como resultado se obtiene una plataforma cliente-servidor, ampliable y preparada para el futuro permitiendo una mayor integración [12].

En 2017, Siriwat Wasoontarajoen, Khwanchai Pawasan y Vithaya Chamnanphrai, en el artículo denominado “Development of an IoT device for monitoring electrical energy consumption”, presentan un dispositivo IoT desarrollado para el monitoreo del consumo de energía eléctrica en un edificio. El prototipo es un dispositivo de IoT de bajo costo que consta de tres módulos, que incluyen sensores de energía eléctrica PZEM-004t, un microcontrolador Arduino Nano Mini y una placa ESP8266 Serial a WiFi. Para verificar la eficiencia del dispositivo se realizaron pruebas de medición de energía eléctrica durante una semana. Los resultados de la prueba confirmaron que el dispositivo funcionaba correctamente, recopilando los datos de energía eléctrica para garantizar una gestión eficiente de la energía [13].

En 2016, Laila Salman, Safa Salman, Saeed Jahangirian, Mehdi Abraham, Fred German, Charlotte Blair y Peter Krenz,, en el artículo denominado “Energy efficient IoT-based smart home”, desarrollan un sistema inteligente basado en IoT para generar eficiencia energética en la cocina de un hogar. Para las pruebas de funcionamiento se llevaron a cabo varias simulaciones multifísicas utilizando un sensor de movimiento con una cámara de vigilancia como parte del sistema de seguridad. Como resultado se obtuvo un sistema de monitoreo inteligente que en conjunto con la luz del hogar y los sistemas de control de HVAC, se puede controlar de forma remota la iluminación y la calefacción o el enfriamiento cuando un ocupante entra o sale de la cocina [14].

El repositorio de la Universidad Técnica de Ambato se encontró la tesis “Sistema electrónico de monitoreo y control para la distribución de energía eléctrica en los hogares” presentada por el Señor Andrés S. Salazar en el año 2017, quien desarrolla el monitoreo dentro de la red eléctrica en el hogar a través de sensores para la adquisición del consumo eléctrico, teniendo como unidades de procesamiento a Arduino, además hace uso de un servidor web para la disponibilidad de la información y de un sistema de control para los equipos eléctricos existentes en el hogar, finalizando que las redes eléctricas residenciales en el país debido a la gran cantidad de abonados, producen problemas de lectura en los medidores, teniendo mediciones con errores involuntarios e inconformidades en los usuarios, y que el método más sencillo para la detección de cargas conectadas a la red eléctrica es realizando un análisis de potencias [15].

2.2. Fundamentación Teórica

Para sustentar teóricamente el presente proyecto de investigación se definen los temas y subtemas que se describen en la Figura 2.1.

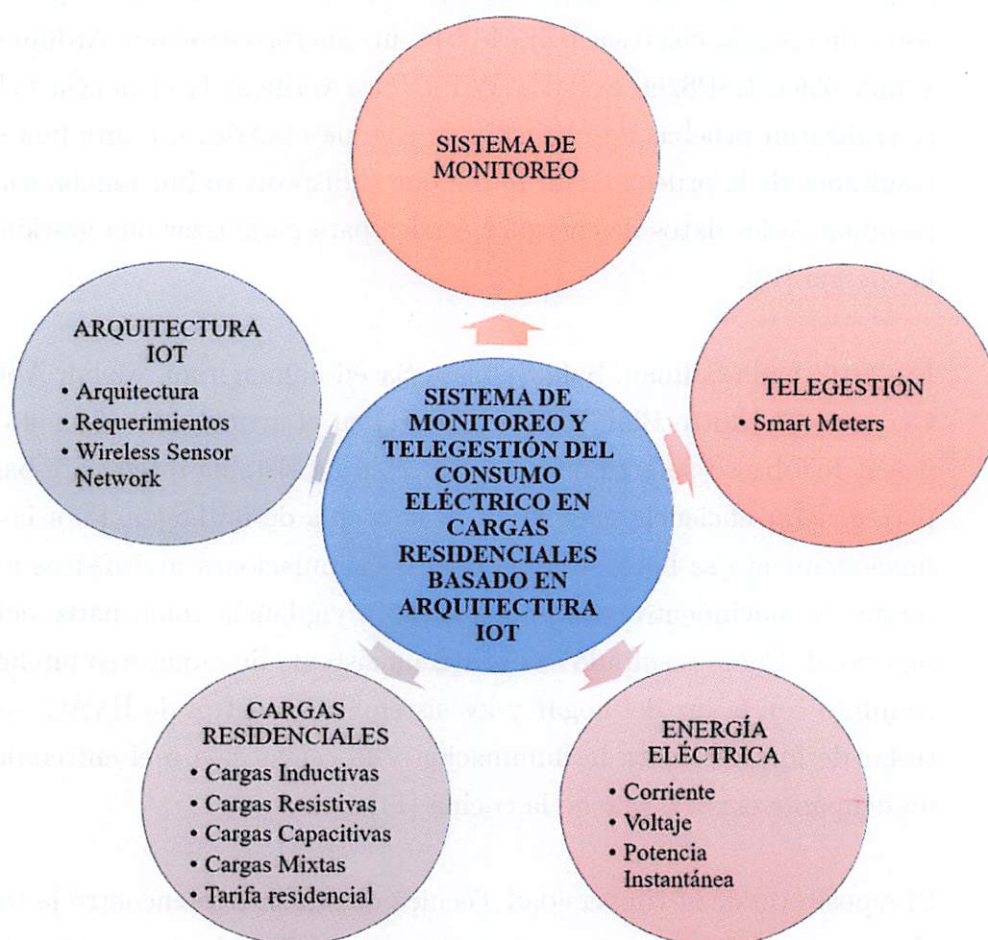


Figura 2.1: Fundamentación del Marco Teórico.

Elaborado por: Investigador

2.2.1. Sistemas de Monitoreo del Consumo Eléctrico

Los sistemas de monitoreo de energía son herramientas que nos entregan información del comportamiento actual de nuestra red eléctrica. Para conseguir mayor eficiencia en el consumo. De ello se pueden trasladar algunas ventajas [16]:

- Análisis de los datos, comparándolos con patrones de consumos conocidos y parámetros exteriores ambientales como temperatura, humedad, etc. que pueden hacer decidir las acciones de ahorro energético.

- Posibilidad de medir diferentes parámetros y seguimiento mediante gráficos que permitirán la toma de decisiones.
- Inclusión de alarmas para detectar consumos excesivos o superfluos.

Con un sistema de medición de parámetros eléctricos podemos obtener algunas otras ventajas adicionales[16]:

- Detectar áreas de oportunidad relacionadas con una disminución de la facturación.
- Llevar a cabo facturación interna a partir de los consumos por centro de consumo o línea de producción.
- Analizar alternativas que permitan hacer un uso más racional y eficiente de la energía.
- Determinar la energía reactiva para la corrección óptima del factor de potencia, y minimizar pérdidas en los conductores por calentamiento.
- Identificar aquellas cargas que contribuyen en mayor medida al consumo de energía, demanda máxima y/o bajo factor de potencia.
- Determinar la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica en una empresa.
- Calcular los índices energéticos y compararlos con los niveles recomendados.
- Distribuir costos (facturación interna).
- Detección de problemas relacionados con regulación y desbalance de voltaje.
- Establecer el nivel de carga de transformadores y alimentadores.

2.2.2. Telegestión

La telegestión es un conjunto de productos basados en las tecnologías informáticas, electrónicas y de telecomunicaciones que permiten el control a distancia de instalaciones técnicas aisladas o distribuidas geográficamente, constituyéndose la base tecnológica para la evolución hacia las redes inteligentes [17].

Dentro de las ventajas de la telegestión en el consumo eléctrico entre las más sobresalientes se puede mencionar las siguientes[18]:

- Las lecturas del consumo se realizan a distancia.
- La facturación se realiza sobre lecturas reales, evitando así las facturas estimadas.
- Las operaciones relacionadas con el suministro (alta, baja, modificación de potencia o tarifa, etc.) se realizan de forma remota.
- Ejecución de las operaciones remotas en menos de 24 horas en la mayoría de los casos.
- Mayor rapidez en la detección e identificación de incidencias.
- Mejor información sobre el consumo de energía, lo que favorecerá el ahorro y la eficiencia.

2.2.3. Smart Meters

Es una de las aplicaciones del IoT. Basada en dispositivos electrónicos de medición utilizados por los servicios públicos para comunicarse, facturar a los clientes y facilitar la gestión general de sus redes. La medición inteligente es un componente de la red inteligente ofreciendo grandes beneficios tales la demanda, previsión de la demanda, gestión, información que se puede proporcionar fácilmente, control en tiempo real, análisis inteligente de las lecturas, junto a una comunicación bi-direccional [19].

Beneficios del Smart Meters

Los beneficios mas sobresalientes con respecto a la aplicación se tiene [20]:

- Los medidores inteligentes son menos propensos a errores.
- Las lecturas son precisas, son obtenidas tanto para los clientes como los proveedores de servicios públicos.
- Las lecturas se pueden enviar remotamente a través de la web a los proveedores de servicios públicos.
- Los empleados no necesitan estar físicamente presentes en el sitio.
- La manipulación de estos medidores puede ser fácilmente detectada por las autoridades.

- Los medidores inteligentes cuando se programan con electrodomésticos se pueden utilizar para controlar el consumo de electricidad.

Los medidores inteligentes deben cumplir con las siguientes funcionalidades de acuerdo a las características descritas a continuación [20]:

- **Medición cuantitativa:** El medidor debe tener la capacidad de medir la cantidad del medio usando diversos métodos y topologías.
- **Control y Calibración:** El medidor debe ser capaz de compensar las pequeñas variaciones en el sistema.
- **Comunicación:** Envío y recepción de datos de manera efectiva y capacidad para recibir actualizaciones desde el firmware.
- **Administración de energía:** En el caso de que la fuente de energía no esté disponible correctamente, el medidor debe ser capaz de realizar su tarea.
- **Visualización:** El cliente debe poder ver las lecturas del medidor de modo que se pueda controlar el consumo además de ser provechoso en la facturación o el pago.
- **Sincronización:** Los tiempos de sincronización son muy importantes entre el medidor y el sistema proveedor del servicio.

2.2.4. Energía Eléctrica

La energía eléctrica se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas que se neutralizan en el interior de materiales conductores. El origen de la energía eléctrica está en las centrales de generación, determinadas por la fuente de energía que se utilice. Así, la energía eléctrica puede obtenerse de centrales solares, eólicas, hidroeléctricas, térmicas y nucleares [21].

La energía eléctrica, es el producto de la potencia absorbida por una carga por el tiempo transcurrido. La unidad de energía es el Joule (J), que equivale a un watio por segundo:

$$\text{Joule} = \text{Watts} * \text{segundo} = \text{Potencia} * \text{unidad}_{\text{tiempo}}$$

La energía consumida por un dispositivo eléctrico se mide en Kilovatios-Hora (kWh). Normalmente las empresas que suministran energía eléctrica a la industria y los hogares, lo hacen en kilovatios-hora (kWh) [21].

Las variables eléctricas que se deben estudiar para analizar el consumo de energía son las siguientes[22]:

Corriente: Es el flujo ordenado de cargas eléctricas que transporta la energía desde la fuente al consumidor (aparato eléctrico), denominada también como intensidad de corriente se mide en Amperios (A) y es definida por la expresión:

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

Voltaje: Conocida también como tensión eléctrica es la capacidad de transporte de carga eléctrica (energía) que tiene toda fuente eléctrica, es decir, es la diferencia en el nivel de energía de una unidad de carga que se expresa en Voltios (V). Se define por la expresión:

$$v(t) = \frac{dW}{d}$$

Potencia Instantánea: Se define como el producto del voltaje por la corriente, siendo la capacidad que tiene la electricidad de producir un trabajo o de transformar la energía en un tiempo dado. Se expresa en Watts (W) y se expresa:

$$p(t) = v(t) * i(t)$$

La tensión y la corriente se expresan respectivamente:

$$v_t = V_{max} \cos(\omega t + \theta v)$$

$$i_t = I_{max} \cos(\omega t + \theta i)$$

La potencia es :

$$p_t = V_{max} I_{max} \cos(\omega t + \theta v) \cos(\omega t + \theta i)$$

La potencia instantánea se define por la ecuación (2.1):

$$P = 1/T \int_0^T P(t) dt \quad (2.1)$$

Valor eficaz de corriente y voltaje: Se define como el valor de una corriente rigurosamente constante que al circular por una determinada resistencia óhmica pura produzca los mismos efectos caloríficos (igualdad de potencia disipada) que dicha corriente alterna. De la misma manera sucede con la tensión, en las ecuaciones (2.2) y (2.3) se expresan las relaciones para el voltaje y corriente eficaz.

$$I_{RMS}^2 = 1/T \int_0^T i(t)^2 dt$$

$$I_{RMS} = I_{max}/\sqrt{2} = 0.707I_{max} \quad (2.2)$$

Donde:

I_{RMS} representa el valor eficaz de corriente.

I_{max} representa el valor máximo de corriente.

$$V_{RMS}^2 = 1/T \int_0^T v(t)^2 dt$$

$$V_{RMS} = V_{max}/\sqrt{2} = 0.707V_{max} \quad (2.3)$$

Donde:

V_{RMS} representa el valor eficaz de voltaje.

V_{max} representa el valor máximo de voltaje

2.2.5. Cargas Eléctricas Residenciales o Domésticas

La carga eléctrica es el aparato, o conjunto de aparatos conectados a un sistema eléctrico que demandan una potencia eléctrica, el valor de la potencia demandada es el valor de la carga y normalmente se conoce como demanda. Partiendo del principio de la conservación de la energía, los equipos y dispositivos que utilizan energía eléctrica tienen la función de convertirla en otro tipo, por lo que se encuentran aparatos eléctricos que convierten la energía eléctrica en otra energía como puede ser: energía calorífica (resistencias), luminosa (lámparas), campo eléctrico (capacitores), mixtas que pueden ser radio, televisión, etc. A continuación se detallan los tipos de cargas eléctricas [22]:

Cargas Resistivas: Convierte la energía eléctrica en calorífica. La corriente y el voltaje están en fase en sus terminales como se muestra en la Figura 2.2, es decir, $\theta = 0^\circ$.

Al sustituir el valor de theta obtenemos la ecuación (2.4):

$$P_R = VI - VI\cos 2\omega t \quad (2.4)$$

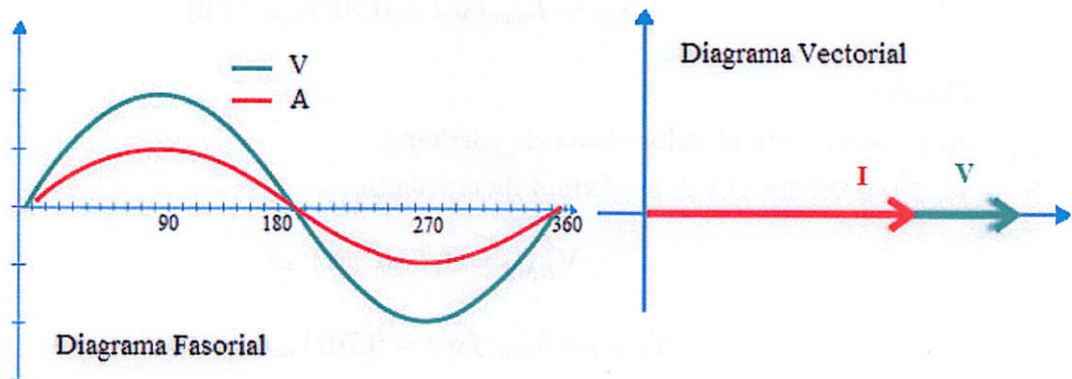


Figura 2.2: Diagramas fasorial y vectorial, carga resistiva [22].

Cargas Inductivas: La potencia toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna, la convierte en campo magnético variable y de acuerdo a las leyes de Faraday y Lenz produce una tensión en la bobina que se opone a la fuente que la produce.

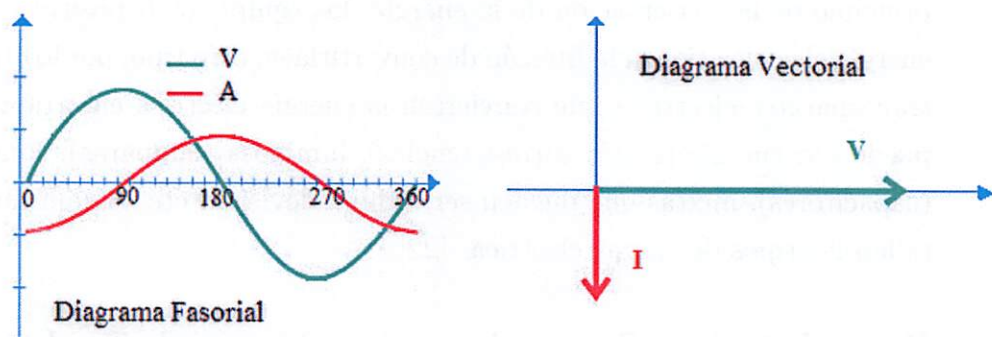


Figura 2.3: Diagramas fasorial y vectorial, carga inductiva [22].

En la Figura 2.3 la corriente en los terminales está retardada en fase con el voltaje en el mismo punto, es decir, $\theta = 90^\circ$.

Al sustituir el valor de theta obtenemos la ecuación (2.5):

$$P_L = VI \sin 2\omega t \quad (2.5)$$

Cargas Capacitivas: La potencia que toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna la convierte en campo eléctrico, que en el siguiente medio ciclo regresa la potencia a la fuente. Es decir, que el capacitor se carga y descarga. En la Figura 2.4 se observa como la corriente en los terminales está

adelantada en fase al voltaje en el mismo punto, es decir, $\theta = -90^\circ$.

Al sustituir el valor de theta obtenemos la ecuación (2.6):

$$P_C = -VI \sin 2\omega t \quad (2.6)$$

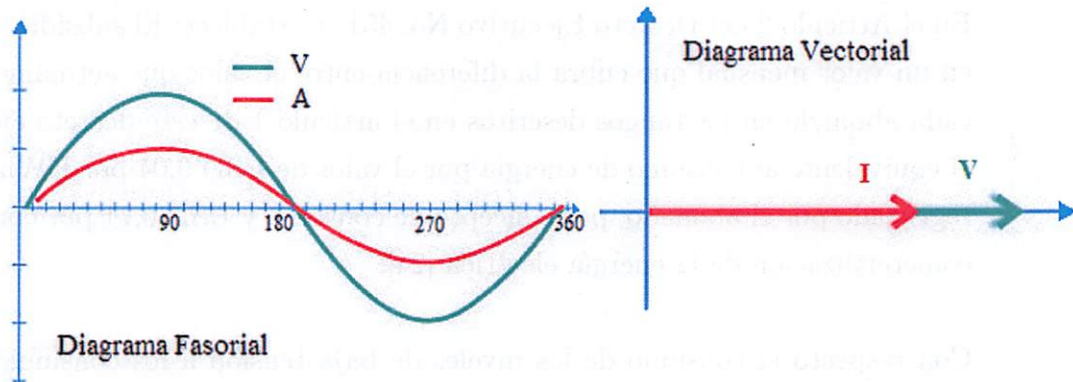


Figura 2.4: Diagramas fasorial y vectorial, carga capacitiva [22].

Cargas Mixtas (Resistiva-Inductiva): Se caracteriza porque la intensidad se retrasa con respecto a la tensión, es decir, $\theta < 90^\circ$.

Cargas Mixtas (Resistiva-Capacitiva): Se caracteriza porque la intensidad se adelanta con respecto a la tensión, es decir, $\theta > 90^\circ$.

2.2.6. Tarifa Residencial

Según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), la tarifa residencial se aplica a todos los consumidores sujetos a la categoría residencial, independientemente del tamaño de la carga conectada. Por lo tanto, el consumidor debe pagar [23]:

- Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
- Cargos incrementales por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida.

Según el Decreto Ejecutivo No. 451- Artículo 1: Dispone la aplicación del Subsidio Tarifa Dignidad para los usuarios residenciales del país ubicados en los quintiles 1 y 2 de ingresos de la Encuesta Condiciones de Vida hecha por el Instituto Nacional

de Estadísticas y Censos (INEC) son acreedores a un subsidio, cuyos consumos mensuales de energía sean inferiores a 110 kWh-mes en las empresas distribuidoras de la Región Sierra y 130 kWh-mes en las de la Región Costa/Oriente/Insular. El objetivo de esta disposición es reducir el pago por el servicio de energía eléctrica para los sectores de escasos recursos económicos [24].

En el Artículo 2 del Decreto Ejecutivo No. 451 se establece: El subsidio consistirá en un valor mensual que cubra la diferencia entre el valor que actualmente paga cada abonado en los rangos descritos en el artículo 1 de este decreto ejecutivo y el equivalente al consumo de energía por el valor de USD 0,04 por KWh mensual registrado por el abonado, por concepto de consumo y USD 0,71 por concepto de comercialización de la energía eléctrica [24].

Con respecto al consumo de los niveles de baja tensión a los consumidores que no reciben el subsidio de la Tarifa Dignidad, en la Tabla 2.1 se detalla el costo del kWh [23]:

Tabla 2.1: Costo kWh [23].

RANGO DE CONSUMO [V]	COSTO DE CONSUMO [USD]
1-50	0.091
51-100	0.093
101-150	0.095
151-200	0.097
201-250	0.099
251-300	0.101
CATEGORÍA RESIDENCIAL TEMPORAL	
1-300	0.1285

Elaborado por: Investigador

La Tabla 2.1 describe el cargo tarifario único para baja y media tensión para el sector Residencial. Estos rubros son aplicables a partir del 1 de enero del 2018 y tendrá vigencia hasta el 31 de diciembre del 2018 para las zonas de Ambato, Azogues, Cnel Bolívar, Centrosur, Cotopaxi-Norte y Riobamba-Sur [23].

2.2.7. Internet de la Cosas

El Internet de las Cosas (IoT) consiste en que las cosas tengan conexión a Internet en cualquier momento y lugar. En un sentido más técnico, consiste en

la integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos que quedan conectados a Internet a través de redes fijas e inalámbricas. El hecho de que el Internet esté presente al mismo tiempo en todas partes permite que la adopción masiva de esta tecnología sea más factible. Dado su tamaño y coste, los sensores son fácilmente integrables en hogares, entornos de trabajo y lugares públicos. De esta manera, cualquier objeto es susceptible de ser conectado y manifestarse en la Red. Además, el IoT implica que todo objeto puede ser una fuente de datos[25].

El internet de las cosas (IoT), es un término global en el que se encuentran diferentes categorías [26]:

- Redes inalámbricas de sensores y actuadores.
- Wearables conectados a internet.
- Sistemas embebidos de baja potencia.
- Tracking RFID.
- Smartphones que interactúan con el mundo real.
- Dispositivos Bluetooth enlazados a Internet. Smart Homes etc.

El desarrollo de soluciones a partir del Internet de la Cosas (IoT), implica muchos dispositivos de IoT heterogéneos con sensores que producen datos que se analizan para obtener conocimientos. Los dispositivos de IoT se pueden conectar directamente a una red o a una red a través de un dispositivo Gateway, lo que permite que los dispositivos se comuniquen entre ellos; con servicios y aplicaciones en la nube [27].

En IoT, existen dos aspectos fundamentales que se debe destacar: Los dispositivos a emplearse y la arquitectura que los soporta. De hecho, también se incluye un tercer aspecto clave, y es que en muchos casos habrá una Gateway de bajo consumo que realiza la recolección de datos [26]. En la Tabla 2.2 se muestra un resumen de los dispositivos IoT por niveles.

El Internet de las cosas es tan extenso, por lo tanto, su arquitectura no es la misma para cada una de sus categorías debido a los requisitos y las necesidades específicas de cada caso [25]. En función de reducir la latencia (retardo temporal dentro de una red), mejorar la privacidad y reducir los costos del ancho de banda dentro de las aplicaciones de IoT, se aplican estrategias que ayudan a simplificar

el desarrollo, a gestionar la complejidad y a asegurar que las soluciones de IoT sigan siendo escalables, flexibles y robustas [27].

Tabla 2.2: Dispositivos IoT [26].

Dispositivos IoT	
Nivel Bajo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Controladores embedded de 8 bits. ■ System-On-Chip (SOC). ■ Un buen ejemplo de este Open Source hardware es Arduino Uno.
Nivel Medio	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dispositivos con una arquitectura de 32 bits como los chips de Atheros y ARM. ■ Routers domésticos y derivados de estos. Dispositivos basados en plataformas de Linux embedded, como OpenWRT u otros sistemas operativos embedded. ■ En algunos casos, no corren ningún SO. Por ejemplo: Arduino Zero o Arduino Yun.
Nivel Alto	<ul style="list-style-type: none"> ■ Las plataformas IoT con más capacidad son los sistemas completos de 32 y 64 bits. ■ Dispositivos que pueden comportarse como Gateways o puentes para dispositivos más pequeños. ■ Dispositivos basados en tecnologías móviles. ■ Sistemas, como Raspberry Pi o BeagleBone, que pueden correr varios SO como Linux o Android.

Elaborado por: Investigador

ARQUITECTURA IoT

La arquitectura representa la estructura de una solución IoT que incluye aspectos físicos (las cosas) y los aspectos virtuales servicios y protocolos de comunicación. Acoger una arquitectura multinivel permite mejorar la comprensión acerca de cómo funcionan todos los aspectos importantes de la arquitectura antes de que se integren dentro de una aplicación IoT. Este enfoque modular ayuda a gestionar la complejidad de las soluciones IoT. Para las aplicaciones de IoT basadas en los datos y que conllevan al análisis, la arquitectura suele ser de tres niveles, tales como la capa de dispositivos, la capa edge y la capa de la nube. Una arquitectura de IoT más detallada también incluiría capas verticales que cortan otras capas, como la gestión de identidades o la seguridad de los datos [27].

En la Figura 2.5 se muestra la Arquitectura Básica IoT:

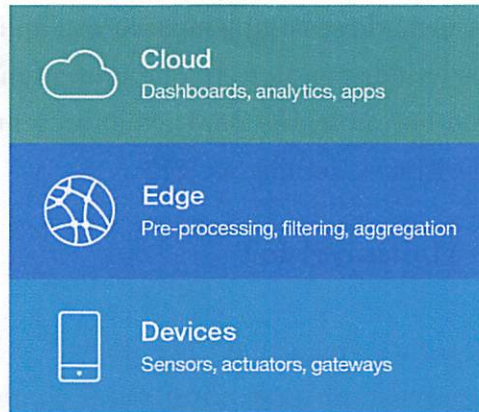


Figura 2.5: Arquitectura Básica IoT [26].

- **Capa de Dispositivos:** Los componentes de esta capa incluyen sensores físicos y actuadores que están conectados a dispositivos de IoT. Los sensores y los actuadores normalmente no se consideran por si mismos dispositivos inteligentes, pero estos a menudo se conectan directamente o de forma inalámbrica, a través de tecnologías como Bluetooth Low Energy, ZigBee, etc. a dispositivos IoT que tienen más capacidades de procesamiento. Algunos dispositivos de IoT se comunican directamente con relación a servicios y aplicaciones en la nube. Sin embargo, es habitual que éstos se comuniquen de forma ascendente a través de gateways, que son dispositivos intermedios que tienen una capacidad de procesamiento ligeramente superior que la de los dispositivos básicos de IoT, además los dispositivos Gateway cumplen un importante rol en el proceso de la adquisición de datos, debido a que pueden realizar conversiones básicas analógicas y digitales, escalado y otras normalizaciones de las lecturas de los datos del sensor [27].
- **Capa Edge:** La capa Edge representa al nivel medio y se relaciona con servicios de análisis y de preprocesado que se ubican en el límite de la red. El análisis de esta capa se da en tiempo real (o casi en tiempo real) al procesar el flujo de datos en el momento en el que estos son recopilados desde los sensores. Las acciones más importantes del preprocesamiento, son el filtrado y la agregación de datos, que se ejecutan en el límite y luego se transfieren en sentido ascendente hacia los servicios y las aplicaciones de la nube para procesarlos y analizarlos aún más [27].

- **Capa Nube:** Se da lugar a la finalización del procesamiento de los datos, para almacenarlos y utilizarlos dentro de las aplicaciones de la nube, también a menudo se complementan con aplicaciones móviles y aplicaciones de clientes basadas en la web, que presentan los datos a los usuarios finales a través de herramientas para explorar y analizar los datos que permitan llegar a decisiones detalladas [27].

Arquitectura Multinivel IoT

Esta arquitectura está constituida por diferentes componentes, Figura 2.6, y se plantean capas que afectan tanto horizontal como vertical, la gestión de acceso e identidad, además las capas se pueden identificar como tecnologías específicas [26].

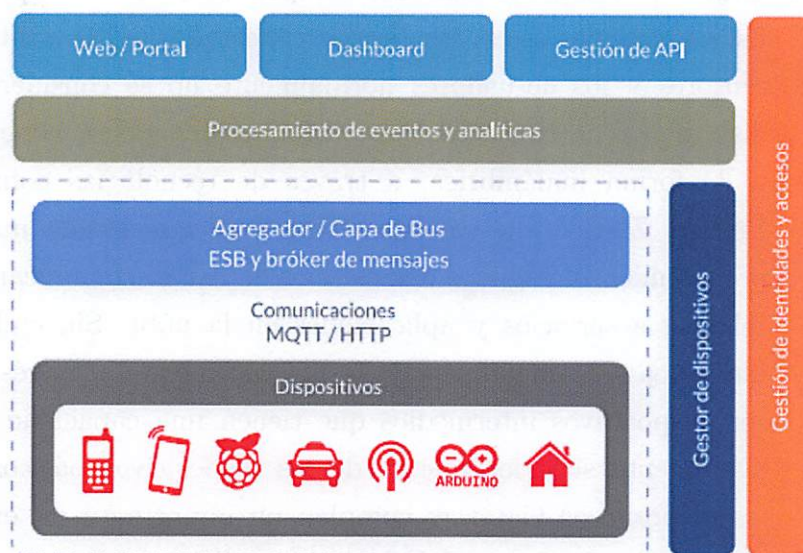


Figura 2.6: Arquitectura Multinivel IoT [28].

Las capas que conforman esta arquitectura son[28]:

- Comunicaciones externas o de clientes – Web / Portal, Dashboard y APIs.
- Procesamiento de eventos y analíticas (sin incluir el almacenamiento de datos).
- Agregación / Capa de BUS – ESB y bróker de mensajes.
- Protocolos de transporte de mensajes – MQTT / HTTP / XMPP / CoAP / AMPQ, etc.

- Dispositivos.

En las capas transversales podemos ver:

- Gestor de dispositivos.
- Gestión de identidades y accesos.

Capa de Dispositivo: La parte inferior de la arquitectura está conformada por los dispositivos, que son de varios tipos y poseen algún tipo de comunicación, directa o indirecta a Internet. Estas pueden ser: Arduino con conexión Ethernet de Arduino, Arduino Yun con conexión Wi-Fi, Raspberry Pi conectado vía Ethernet o Wi-Fi. Los ejemplos de conexiones indirectas son: Dispositivos ZigBee conectados mediante un Gateway de ZigBee, Dispositivos conectados a teléfonos móviles con Bluetooth de baja energía, Dispositivos conectados a Raspberry Pi mediante radios de baja potencia etc [28].

Capas de Comunicación: Las capas de comunicación son las encargadas de soportar la conectividad de los dispositivos. Además hay una gran variedad de protocolos para la comunicación entre los dispositivos y la nube. En la Tabla 2.3 se puede observar un resumen de los diferentes protocolos soportados.

Un aspecto importante a tener en cuenta de los dispositivos IoT no es solamente el poder enviar datos al Cloud/Servidor, sino también el poder comunicarse con el dispositivo, en definitiva, la bidireccionalidad. Este es uno de los beneficios de MQTT: es un modelo brokered, el cliente abre una conexión de salida al bróker, aunque el dispositivo esté actuando como Publisher o subscriber. Esto normalmente evita los problemas con los firewalls porque funciona detrás de ellos o vía NAT [26].

Capa de agregación/bus: La capa del bus puede proporcionar correlaciones y mapeos simples de diferentes modelos de correlación (por ejemplo; mapear el ID del dispositivo con el ID del propietario de este o viceversa). Así como la adaptación en protocolos legacy. La capa de agregación/bus además debe desarrollar dos roles de seguridad claves. Debe ser capaz de actuar como un recurso de servidor. También debería ser capaz de verificar las políticas de acceso. Los agregadores o brokers de comunicación son muy importantes debido a las siguientes razones [26]:

- El soporte de un servidor HTTP y/o un broker MQTT para comunicarse con los dispositivos.

- La agregación y combinación de comunicaciones de diferentes dispositivos y de enrutar las comunicaciones hacia un dispositivo específico (posiblemente vía un Gateway).
- La habilidad de puentear y transformar diferentes protocolos. Por ejemplo: ofrecer APIs basadas en HTTP que intercedan un mensaje MQTT que va a un dispositivo.

Tabla 2.3: Protocolos Capas de Comunicación [26].

PROTOCOLOS DE LA CAPA DE COMUNICACIÓN	
Protocolos	Características
HTTP/HTTPS (con un enfoque RESTful)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Posee una diversidad en las bibliotecas que lo soportan. ■ Es un protocolo simple basado en texto, muchos dispositivos pequeños como los controladores de 8 bits lo pueden soportar parcialmente. ■ Está disponible sólo en recursos como POST o GET). ■ Los dispositivos de 32 bits, pueden utilizar librerías con un cliente completo de HTTP.
MQTT 3.1/3.1.1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Es un sistema de mensajes de publicación-suscripción en un modelo bróker. ■ Resuelve los problemas en los sistemas integrados de SCADA. ■ El protocolo tiene un tope pequeño (2 bytes por mensaje) y fue diseñado para soportar conexiones de red intermitentes y con pérdidas. ■ Diseñado para trabajar sobre TCP.
Protocolo de aplicación restringida (CoAP)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Es un protocolo del IETF que está diseñado para proveer en semánticas de HTTP. ■ Es un protocolo de aplicación RESTful. ■ Emplea un footprint o huella más pequeña en binario en lugar de en texto. ■ Diseñado para ser usado como UDP.

Elaborado por: Investigador

Capa de analítica y procesamiento de los eventos: Esta capa recoge los eventos del bus y proporciona la posibilidad de procesarlos y actuar sobre estos. Una capacidad esencial es la de guardar los datos. Hay tres posibles maneras de hacerlo [27]:

- Desarrollar una aplicación en el lado del servidor respaldada por una base de datos.
- Emplear una plataforma de análisis big data, que es cloud y escalable, soporta tecnologías como Apache y que proporciona soluciones altamente escalables para poder tratar la información que proviene de los dispositivos.
- Procesamiento de eventos complejos para iniciar casi en tiempo real actividades y acciones basadas en datos de dispositivos y del resto del sistema.
- Soportar plataformas de procesamiento de aplicaciones tradicionales, como Java Beans; movidos por mensajes, o alternativas, como node.js, PHP, Ruby y Python.

Capa de comunicación cliente/externo: La arquitectura debe proporcionar alguna vía de comunicación para aquellos dispositivos que son externos al sistema. Esto incluye los siguientes enfoques se debe poder crear portales basados en la web para interactuar con los dispositivos y con la capa de procesamiento de eventos, además se debe ser capaces de crear dashboards que es un sistema reutilizable focalizado en crear gráficos y otro tipo de visualización de datos que muestran información del análisis y el procesamiento de los eventos Finalmente, se necesitara interactuar con los sistemas que se encuentran fuera de la red [26, 28].

Gestión de dispositivos: La gestión de dispositivos está controlada por dos componentes. Un sistema en el servidor (un gestor de dispositivos) que se comunica con dispositivos mediante varios protocolos y posibilita el control en masa o individual de los dispositivos. También se puede gestionar el software y las aplicaciones desarrolladas de manera remota, bloquear y/o limpiar el dispositivo si es necesario. El gestor de dispositivos también necesita mantener una lista de las identidades de los dispositivos mapeados con las identidades de los propietarios de estos, además se debe poder trabajar también con la capa de gestión de identidades y de accesos para gestionar los controles de acceso de los distintos dispositivos. Existen tres niveles de dispositivos [26, 28]:

- No gestionado (non-managed, NM).
- Semi gestionado (semi-managed, SM).
- Completamente gestionado (fully managed, FM).

Gestión de accesos e identidades: Siendo la capa final puede tener otros requerimientos específicos para otro tipo de instancias de administración. Estas decisiones vienen motivadas por los requerimientos específicos de las arquitecturas IoT incluyendo las mejores prácticas para construir arquitecturas de internet ágilmente, mantenibles y escalables. Esta capa necesita ofrecer los siguientes servicios [26, 28]:

- Emisión y validación de servidores.
- Identidades de servicios para identificar las peticiones entrantes de la capa web.
- Directorio de usuarios.
- Gestión de políticas para la gestión de control de accesos.

REQUERIMIENTOS DE UNA ARQUITECTURA IoT

Hay determinados requerimientos para IoT que se encuentran de forma específica en los dispositivos IoT y en los ecosistemas que los soportan. Otros requerimientos emergen del modo en el que los dispositivos IoT están fabricados la forma en que son utilizados, que presenten alta disponibilidad, datos predictivos, e integración con otras tecnologías. Entre los requerimientos en claves tenemos [26, 28]:

- **Conectividad y Comunicaciones:** Los protocolos como HTTP, que son muy importantes en muchos dispositivos. Incluso un microcontrolador de 8-bits puede crear solicitudes de GET y POST. HTTP puede proveer conectividad unificada y uniforme, donde la sobrecarga de HTTP y algunos otros protocolos de Internet tradicionales puede ser un problema por dos razones principales. La primera de ellas es debido al tamaño del programa, suele ser un inconveniente en dispositivos pequeños. Pero el obstáculo más importante tiene que ver con el consumo de energía, para dejar atrás este problema se necesitan protocolos pequeños, binarios además de tener la capacidad de poder cruzar firewalls. Los dispositivos se conectan directamente y otros a través de Gateway, que usan como pasarela dos protocolos uno para conectar el dispositivo al Gateway y otro para conectarse desde el Gateway a la nube. Finalmente, existe un requerimiento en la arquitectura que debe soportar el puenteo de transporte a los protocolos, que por ejemplo pueda ofrecer un protocolo binario al

dispositivo, pero a la vez el acceso a una API basado en HTTP para el control del dispositivo y que pueda ser usada por terceros [26, 28].

- **Gestión de dispositivos:** Debido a la variedad de los dispositivos IoT, no todos suelen estar controlados o gestionados. Por lo tanto, cada vez son más los dispositivos que se debe controlar de manera activa cubriendo por lo menos con los siguientes requerimientos: posibilidad de desconectar un dispositivo malicioso o robado, actualización del software del dispositivo, actualizaciones de las credenciales de seguridad, habilitar o deshabilitar ciertas opciones de hardware remotamente, localización de dispositivos, limpiar información confidencial de un de un dispositivo en caso de ser necesario y reconfigurar parámetros de Wi-Fi, GPRS u otras redes remotamente.
- **Recolección y Análisis de los datos:** Ciertos dispositivos disponen de algún tipo de interfaz de usuario, pero en general los dispositivos IoT se enfocan en ofrecer sensores, actuadores o una combinación de los dos. Las arquitecturas están diseñadas para poder gestionar un gran número de dispositivos donde se envían datos constantemente, por lo que los sistemas de almacenaje deben contar con una gran capacidad de escalabilidad capaz de gestionar datos de diversos tipos y de gran volumen. Las acciones deben ser casi en tiempo real, por lo que se requiere una gran capacidad de análisis, además de la habilidad de los dispositivos de analizar, actuar en base a simple lógica o a través del uso de dispositivos más robustos [26, 28].
- **Escalabilidad:** Las arquitecturas en el servidor deben ser altamente escalables y capaces de soportar millones de dispositivos que envíen, reciban y actúen sobre datos constantemente, desde despliegues pequeños hasta volúmenes masivos. El desarrollo de arquitecturas altamente escalables también tiene altos costes, tanto en su complejidad como en el coste de su software y hardware, por lo que la flexibilidad de la escalabilidad y la habilidad de desplegarla en una infraestructura Cloud son esenciales [26, 28].
- **Seguridad:** La seguridad es uno de los aspectos más importantes en IoT. Los dispositivos están constantemente recolectando información personal. Donde su función es llevar el mundo real a Internet y vice-versa. Esto nos lleva a percibir los siguientes de riesgos entorno la seguridad: Riesgos propios de Internet, Riesgos específicos de los dispositivos IoT que Incluye cuestiones relacionadas específicamente con el hardware IoT y la habilidad que pudiera

tener alguien para atacar un determinado hardware para entender su seguridad, además de la relación específica de la seguridad IoT relacionada a la identidad y la gestión de accesos. Los requerimientos de seguridad deben de soportar: encriptación en aquellos dispositivos que son potentes, un modelo de identidades basado en tokens y no en una contraseña/usuario, gestión de claves y tokens de la manera más fluida remotamente posible, políticas y control de accesos a los sistemas [26, 28].

2.2.8. Wireless Sensor Networks (WSN)

Es una red formada por un gran número de nodos sensores, nodos actuadores, gateways y clientes, donde cada nodo está equipado con un sensor que percibe y controla el ambiente, fenómenos físicos, presión etc. Permitiendo la interacción entre las personas, las computadoras y el entorno, son además consideradas como un método de recolección de información desplegados dentro de una área de monitoreo, los datos recopilados pueden ser transmitidos de nodos en nodos a través de saltos y pueden ser supervisados en múltiples nodos. WSN y aún más, IoT, no son solo tecnologías, sino que representan complejos sistemas que utilizan diversas tecnologías de capas de comunicación y están presentes en diversas áreas de aplicación y ambientes [29].

Nodos sensores

Los nodos sensores son la principal base de una WSN, el hardware de un nodo sensor incluye generalmente cuatro partes: la potencia y la gestión del módulo, un sensor, un microcontrolador y un transceptor [29]:

- El módulo de potencia ofrece la potencia fiable necesaria para el sistema.
- El sensor es el enlace de un nodo WSN que puede obtener el estado de una determinada variable, además se encarga de recoger y transformar las señales, como la luz, las vibraciones etc. y convertirlas en señales eléctricas.
- El microcontrolador recibe los datos del sensor y los procesa.
- El transceptor inalámbrico transfiere los datos, de modo que la realización de la comunicación es importante en el diseño de todas las partes de un nodo WSN.

2.2.9. Servidor LAMP

LAMP es el acrónimo para Linux, Apache, MySQL y PHP. Se define como el conjunto de tecnologías sobre la cual se ejecuta la mayor parte del Internet. Respectivamente posee: un sistema operativo, un servidor HTTP, una base de datos y un lenguaje de programación y preprocesador que al trabajar en conjunto logran dar vida a una aplicación grande y robusta. Las herramientas más importantes son [30]:

- Sistema Operativo: Raspbian es una de las tantas distribuciones de Linux disponibles que están adaptadas para ser ejecutadas en la Raspberry Pi. Ésta es la oficial mantenida por la Raspberry Pi Foundation, pero otros ejemplos serían Arch ARM o Pidora.
- Apache como servidor de páginas web.
- MySQL que es el gestor de base de datos.
- PHP, Perl, o Python que hace referencia al lenguaje de programación.

2.3. Propuesta de solución

La implementación de un sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico en cargas residenciales basado en una arquitectura IoT, permite a través de la integración de redes de medición tener el control de las magnitudes eléctricas consumidas por los diferentes aparatos eléctricos, así como generar una base de datos y reportes de acuerdo a periodos y niveles de consumo que facilite al usuario adoptar estrategias de ahorro y eficiencia energética, lo que a su vez incide en la reducción del costo de la factura eléctrica.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. Modalidad Básica de la investigación

En el presente proyecto se utilizó la investigación aplicada debido a que se emplearon recursos científicos, técnicos y tecnologías ya existentes para dar solución al problema, teniendo las siguientes modalidades de investigación:

- Investigación Bibliográfica, se realizó una investigación en libros, documentos, revistas indexadas, artículos científicos y publicaciones electrónicas con el propósito de sustentar y profundizar las bases y temáticas afines para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Investigación de Campo, fue necesaria para realizar un análisis y un estudio sistemático del problema a resolver, con el fin de obtener toda la información necesaria para definir el diseño adecuado del proyecto que cumpla los objetivos planteados.
- Investigación Experimental, se empleó debido a que hay que realizar diferentes pruebas, para determinar los elementos adecuados para el desarrollo óptimo del proyecto.

3.2. Población y Muestra

Por las características de la investigación, no fue necesario la población y muestra.

3.3. Recolección de la Información

Para la recolección de información se revisaron documentos, fuentes bibliográficas, repositorios de universidades, artículos científicos, revistas, publicaciones, Internet, trabajos de Investigación realizados, bases de datos y la guía del tutor.

3.4. Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento y análisis de datos se desarrolló de acuerdo a las siguientes actividades:

- Selección de la información necesaria que aportó en el desarrollo de la investigación.
- Análisis de la información, que ayudó a generar estrategias para la solución del problema.
- Interpretación de los resultados finales, que dieron respuesta al propósito del proyecto.

3.5. Desarrollo de proyecto

Para el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Analizar los sistemas de medición en el sector residencial.
2. Determinar y analizar el comportamiento de las cargas eléctricas residenciales.
3. Determinar los criterios de dimensionamiento para los elementos de medición, monitoreo y control.
4. Establecer las diferentes tecnologías a emplearse en el desarrollo del proyecto.
5. Analizar los diferentes dispositivos electrónicos que nos permitan cuantificar y gestionar el consumo energético.
6. Diseñar la red inalámbrica de sensores.
7. Analizar los datos obtenidos por los dispositivos de adquisición inalámbrica.
8. Comparar la información adquirida por los dispositivos inalámbricos con instrumentos de medición certificados.
9. Validar los dispositivos de adquisición inalámbrica.
10. Dimensionar y diseñar la plataforma para el tratamiento, almacenamiento y visualización de la información adquirida.
11. Desarrollar e instalar la infraestructura necesaria para la implementación de la plataforma Cloud.
12. Verificar el comportamiento de la Plataforma Cloud.

13. Ensamblar las diferentes etapas y componentes del proyecto, detectar y corregir fallos.
14. Analizar los resultados obtenidos para establecer conclusiones y recomendaciones.
15. Elaborar el Informe Final

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para el desarrollo e implementación del sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico residencial, es necesario un conjunto de dispositivos que interactúen entre si de manera que permitan reflejar el comportamiento de las diferentes cargas eléctricas, facilitando la administración del consumo eléctrico enfocado en tener una mayor eficiencia energética. Así, para cumplir con el objetivo propuesto en la presente investigación se desarrolla una red de sensores inalámbricos que permite adquirir y procesar las señales provenientes de las diferentes variables eléctricas.

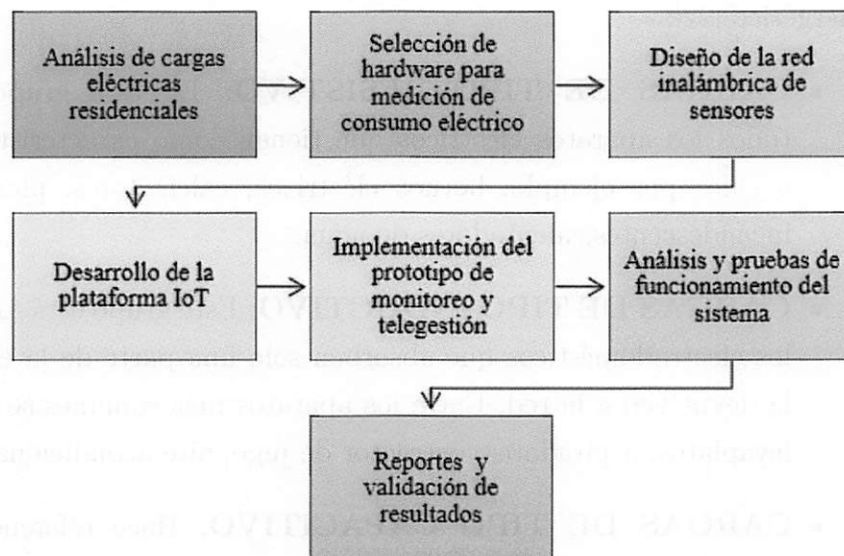


Figura 4.1: Etapas de Desarrollo.

Elaborado por: Investigador

El diagrama de bloques de la Figura 4.1 que muestra las diferentes etapas de desarrollo. En primer lugar se realiza un análisis del comportamiento de las cargas eléctricas del sector residencial que permite elegir hardware y software que forma parte de prototipo. Como siguiente punto se detallan los procesos y subprocesos de diseño y construcción del sistema. Finalmente se realiza las pruebas de funcionamiento para corregir posibles errores existentes en el sistema y obtener las diferentes conclusiones y recomendaciones que la investigación conceda.

4.1. Análisis de cargas residenciales

En el Ecuador, se define como cliente del sector residencial a todo los usuarios que hacen uso del servicio eléctrico exclusivamente para uso doméstico, independientemente del tamaño familiar y el consumo total de energía además de los usuarios de escasos recursos que realizan actividades comerciales o artesanales en sus pequeñas viviendas [23].

En el sector residencial cada aparato eléctrico pertenece a un tipo de carga residencial, esto genera un consumo eléctrico por kWh que se ve reflejado en una planilla final de cada mes; pero éstas planillas de consumo no detallan los Kilovatios por hora consumidos por cada electrodoméstico, por lo tanto es necesario clasificar cada aparato eléctrico mayoritariamente utilizado en los hogares de acuerdo al tipo de carga y con ello ayudar al usuario a disminuir el consumo de kWh mensual y por ende la reducción del pago por consumo energético [22]:

- **CARGAS DE TIPO RESISTIVO:** En este grupo se encuentran todos los aparatos eléctricos que tienen como característica producir luz o calor por ejemplo: hornos eléctricos, calefactores, planchas, bombillas incandescentes, calentadores de agua.
- **CARGAS DE TIPO INDUCTIVO:** Este grupo está formado por todos los electrodomésticos que absorben solo una parte de la energía y el resto la devuelven a la red. Entre los aparatos mas comunes se tiene: lavadoras, lavaplatos, aspiradoras, extractor de jugo, aire acondicionado, etc.
- **CARGAS DE TIPO CAPACITIVO:** Hace referencia a las cargas que absorben la energía eléctrica pero no la disipan, ya que generalmente son acumuladores de energía. Entre estos se tiene: Banco de capacitores, condensadores síncronos, motores síncronos, etc.

Concluido el análisis de las diferentes cargas eléctricas se determina que en el sector residencial se tienen en su mayoría cargas resistivas e inductivas, mientras que las cargas capacitivas tienen mayor uso en el sector industrial. El consumo eléctrico promedio para los diferentes equipos eléctricos detallados en la Tabla 4.1 corresponden al consumo por kWh determinados a través de una investigación realizada en la Ciudad de Cuenca para el Sector Residencial Urbano con el objetivo de analizar la eficiencia energética y reducir el costo de la planilla de consumo energético mensual [31].

Tabla 4.1: Tabla Cargas Residenciales [31].

N°	Electrodoméstico	Consumo promedio [kWh]	N°	Electrodoméstico	Consumo promedio [kWh]
1	Hornos eléctricos	0.80	15	Licuadaora	0.35
2	Calefactores	1.00	16	Máquina de coser	0.25
3	Planchas	1.00	17	Secador de cabello	0.90
4	Cocina Eléctrica	4.00	18	Televisor	0.15
5	Horno Microondas	1.5	19	Waflera	0.7
6	Refrigeradora	0.40	20	Cafetera	0.60
7	Ducha eléctrica	1.00	21	Afeitadora	0.05
8	Lavadora	1.00	22	Extractor de jugos	0.13
9	Secadora de ropa	2.00	23	Tostadora	0.80
10	Equipo de sonido	0.12	24	Lámpara LED	0.04
11	Laptop	0.30	25	Cocina inducción	4.00
12	Aspiradora	1.00	26	Impresora	0.017
13	Batidora	0.20	27	Foco incandescente	0.06
14	Lámpara de mesa	0.10	28	Router Inalámbrico	0.01

Elaborado por: Investigador

Consumo energético en standby: Según el análisis realizado por Ecuatran en el año 2017 para una casa promedio que consume entre 150 kWh al mes, determinó que ciertas cargas eléctricas consumen energía de forma pasiva. Estos valores varían de acuerdo a factores como: marca, tamaño y antigüedad por lo que recomiendan desconectar los electrodomésticos que no sean necesarios. Los aparatos eléctricos más comunes se detallan en la Tabla 4.2 [32]:

Tabla 4.2: Tabla Consumo eléctrico en standby [32].

Electrodoméstico	Consumo [kWh]
Modem Tv Cable	0.0434
Laptop	0.0157
Equipo de sonido	0.144
Televisor	0.066
Microondas	0.025
Computador de Escritorio	0.0739
Cafetera	0.011
Play Station	0.0233
Smartphone	0.029
Cargador de celular	0.026

Elaborado por: Investigador

Considerando la estadística anual y multianual del sector eléctrico correspondiente al año 2016 se determinó que el consumo promedio de energía eléctrica en el sector residencial fue de 136.61 kWh/cliente[9]. Además con base a la NORMA ANSI C84.1 se establecen los límites de tensión nominal y los valores admisibles de operación para los sistemas eléctricos de potencia a 60Hz que tiene como propósito, normalizar los voltajes nominales y sus escalas de variación y tolerancia en los equipos eléctricos. En los hogares residenciales se hace uso de sistemas monofásicos que corresponden a bajos voltajes como se detalla en la Tabla 4.3[33].

De acuerdo a la NORMA ANSI C84.1 manejada por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad es necesario conocer definiciones que se relacionan con la Tabla 4.3 [33]:

- **Voltaje de servicio:** Se define como el voltaje que se encuentra en el nodo sistema eléctrico proveedor-usuario, es decir, en el medidor; mantener la estabilidad de los valores del mismo depende del servicio prestado por la empresa eléctrica.
- **Voltaje de utilización:** Es el voltaje que se encuentra en los terminales de cada punto instalado en la residencia. El voltaje proveniente del mismo es responsabilidad del usuario final.
- **Voltaje nominal:** Se conoce como el voltaje de referencia que los diferentes dispositivos y aparatos eléctricos necesitan para entrar en funcionamiento.
- **Voltaje máximo:** Es el voltaje mas alto del promedio de un intervalo definido de tiempo.
- **Voltaje mínimo:** Es el voltaje mas bajo del promedio de un intervalo definido de tiempo.

Es importante mencionar que en la actualidad un gran numero de usuarios que pertenecen al sector residencial cuenta con una instalación trifásica independiente debido a que las cocinas de inducción necesitan de 220 voltios para entrar en funcionamiento.

Tabla 4.3: Tabla Sistema Nominal de Voltajes ANSI C84.1 [32].

VOLTAJE	SISTEMA DE VOLTAJE NOMINAL		VOLTAJE NOMINAL DE UTILIZACIÓN	VOLTAJE ESCALA A			VOLTAJE ESCALA B		
	Dos cond.	Tres cond.	Dos y tres conductores	Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo	
				Voltaje de utilización y servicio	Voltaje de servicio	Voltaje de utilización	Voltaje de utilización y servicio	Voltaje de servicio	Voltaje de utilización
Bajo voltaje <1 kV	<i>SISTEMA MONOFÁSICO</i>								
	120		115	126	114	110	127	110	106
		120/240	115/230	126/252	114/228	110/220	127/254	110/120	106/202
	<i>SISTEMA TRIFÁSICO</i>								
		120/208Y	208Y/120	218Y/126	197Y/114	191Y/110	220Y/127	191Y/110	184Y/106
			240/120	252/126	228/114	220/110	254/127	220/110	212/106
		240		252	228	220	254	220	212
			480Y/277	504Y/291	456Y/263	440Y/264	508Y/293	440Y/254	424Y/245
		480		504	456	440	508	440	424
			610/346	630/364	570/329	550/318	635/367	550/318	530/306
	600		630	570	550	635	550	530	

Elaborado por: Investigador

De acuerdo a la Regulación CONELEC 004/01 dirigida por la Agencia de Control y Regulación de la Electricidad, establece las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal para bajos voltajes en zonas urbana y rural del sector residencial. A continuación se describe en la Tabla 4.4, donde la subetapa 1 corresponde a los primeros meses posteriores a la instalación del servicio eléctrico mientras que la subetapa 2 corresponde a la consolidación del servicio [34].

Tabla 4.4: Límites de Voltaje Nominal [33].

	Subetapa 1	Subetapa 2
Bajo voltaje urbano	$\pm 10.0\%$	$\pm 8.0\%$
Bajo voltaje rural	$\pm 13.0\%$	$\pm 10.0\%$

Elaborado por: Investigador

4.2. Análisis y Selección de Hardware

Para la selección de los diferentes dispositivos IoT, estos deben cumplir con características clave que permitan sensar adecuadamente las magnitudes eléctricas de voltaje y corriente para obtener el valor de la potencia consumida por las diferentes cargas y generar el reporte final del consumo en kWh y el costo energético. De esta manera se consideran los siguientes aspectos: Adquisición y Control de datos, Procesamiento y almacenamiento de datos, Conectividad y Administración de energía.

A. Sensores de corriente AC

Con base al análisis de cargas residenciales para niveles de bajo voltaje se estudian sensores de corriente que trabajen en corriente alterna, rango de precisión extendido, confiabilidad en la medición además de ser pequeños, compatible con el resto de elementos y dispositivos que serán asociados al prototipo final.

ACS712 ELCTR-20A-T: El modulo sensor de corriente ACS712 ELCTR-20A-T emplea el chip ACS712 de Allegro Microsystems, que proporciona una solución económica capaz de medir corrientes bidireccionales de forma lineal, su modo de operación se basa en el efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente, produciendo en su salida una tensión lineal proporcional a la corriente que atraviesa sus pines de medición, además

posee una resistencia interna que minimiza las pérdidas de potencia. Entre sus aplicaciones están la Robótica, Industria, Sistemas de Comunicaciones, fuentes de alimentación, detección y gestión de cargas [35].

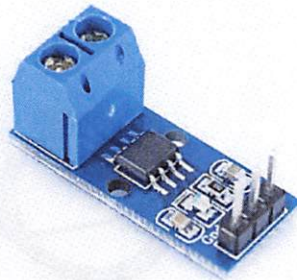


Figura 4.2: Sensor de corriente ACS712ELCTR-20A-T.
Fuente: Internet

ACS714 ELCTR-30A-T: El ACS714 ELCTR-30A-T es un sensor de corriente basado en el microcontrolador ACS714 de Allegro Microsystems, que usa el efecto Hall lineal, de forma precisa y con baja compensación, donde la corriente aplicada fluye a través de un conductor de cobre genera un campo magnético, detectado por el integrado y convertido en un voltaje proporcional extremadamente estable. También presenta una histéresis magnética casi nula, proporcionando baja pérdida de potencia. Es útil para medir magnitudes eléctricas o consumos excesivos por algún dispositivo, es ampliamente usado en robótica, sistemas automotrices, industriales y de comunicaciones [36, 37].

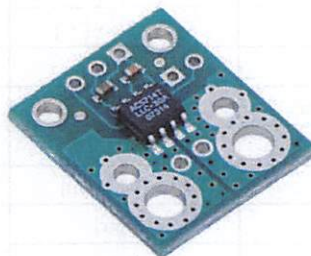


Figura 4.3: Sensor de corriente ACS714 ELCTR-30A-T[35].

SCT-013-000: El SCT-013-000 es un sensor de corriente no invasivo que permite determinar la magnitud de corriente alterna, que circula por un conductor, produciendo a la salida un pequeño voltaje proporcional a la corriente del conductor. Los transformadores de corriente tienen el núcleo dividido facilitando

su operación, debido a que solo se debe enganchar al conductor de alta tensión o neutral, sin tener que hacer ningún acoplamiento de alta tensión eléctrica, también incluye un conector Jack estándar de 3.5mm, sus aplicaciones están en el monitoreo de cargas, indicadores de desfase, mediciones de magnitudes eléctricas, etc. [38].



Figura 4.4: Sensor SCT-013-000.
Fuente: Internet

A continuación en la Tabla 4.5, se realiza un análisis técnico comparativo de las características principales para los diferentes sensores mencionados anteriormente.

Tabla 4.5: Tabla Comparativa Sensores de Corriente.

Parámetros Técnicos	ACS712 ELCTR-20A-T	ACS714 ELCTR-30A-T	SCT-013-000
Chip Interno	ACS712	ACS714	-
Rango de Medición	-20 a +20 [A]	-30A a +30 [A]	0 a +100 [A]
Frecuencia del Ancho de Banda	80 [KHz]	80 [KHz]	-
Sensibilidad	100 [mV/A]	66 [mV/A]	0,5 [mV/A]
Precisión	±1.5 %	±1.5 %	±3 %
Temperatura de Trabajo	-40 a +85 [°C]	-40 a +85 [°C]	-25a +70 [°C]
No Linealidad	±1.5 %	±1.5 %	±3 %
Corriente de Operación	10 [mA]	10 [mA]	50[mA]
Alimentación	4.5 a 5.5 [V]	4.5 a 5.5 [V]	3 a 5.5 [V]
Dimensiones	31 x 31 [mm]	20.32 x 17.78 [mm]	13x 13 [mm]
Peso	10 [gr]	13 [gr]	100 [gr]
Costo	\$ 4	\$ 10	\$ 12
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo

Elaborado por: Investigador

En base al análisis de los parámetros técnicos descritos se ha elegido el sensor de corriente ACS712 ELCTR-20A-T debido a que ofrece un alto rango de medición

de la corriente, presenta un mínimo error, además de que su tamaño y peso facilita la integración en la placa electrónica.

B. Sensores de voltaje AC

Para adquirir los valores de voltaje alterno se necesita un sensor que trabaje con valores de voltaje monofásicos, buena respuesta a las perturbaciones y caídas de voltaje. Sin embargo, es importante que sea compatible con el microcontrolador, económico y de un tamaño reducido para no interferir con el resto de elementos electrónicos de la placa.

DSN-DVM-568AC: El modulo DSN-DVM-568 AC es un voltímetro digital de corriente alterna de bajo costo económico, idóneo para medir voltajes alternos desde 70V a 500V AC, en base al microcontrolador DSN-DVM-568, que trabaja de acuerdo a la variación de tensión que se registra en uno de sus pines análogos, además cuenta con una etapa de supresión de voltajes transitorios para una mejor medición, del mismo modo no hace uso de una fuente externa de alimentación debido a que emplea directamente la tensión medida como fuente de alimentación, es ideal para aplicaciones que trabajan con altas tensiones, prototipos electrónicos, paneles de monitoreo y equipos industriales [39].

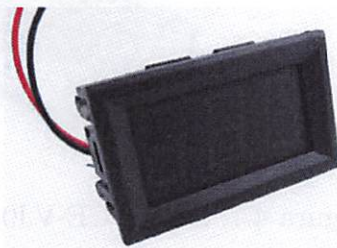


Figura 4.5: Módulo DSN-DVM-568AC[38].

AC ZMP101B: El módulo sensor de voltaje AC ZMP101B está desarrollado a partir de un transformador de corriente alterna capaz de medir voltajes en el rango de 110V hasta 250V AC, de acuerdo con la salida analógica que tiene, ajustable a través de un potenciómetro. Asimismo, posee una salida de voltaje monofásico. Su diseño también recurre a un circuito que incluye un amplificador operacional de alta precisión, una señal destinada al correcto muestreo y a la función de compensación, es un módulo adecuado para el uso en aplicaciones de monitoreo de energía, protección de equipos AC, domótica y retroalimentación en sistemas de control [40].

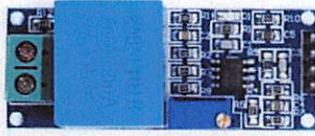


Figura 4.6: Módulo AC ZMP101B[39].

CE-VJ03-32MS2-0.5: El sensor de voltaje en corriente alterna CE-VJ03-32MS2-0.5C es un transductor que utiliza un transformador para medir la tensión de línea en la red eléctrica hasta $250 V_{RMS}$, generando una señal analógica de 0 a 5V en corriente continua, que es linealmente proporcional a la tensión de CA medida en los bloques de los terminales, teniendo que estos admiten conductores de hasta AWG #16.

La fórmula que permite traducir la tensión de salida al voltaje medido es: $V_{RMS} = V_{out} * 50$. Asimismo, es alimentado por una fuente de alimentación externa de 12V CC. Sus aplicaciones destacan en la industria, específicamente en el control de cargas inductivas [41].

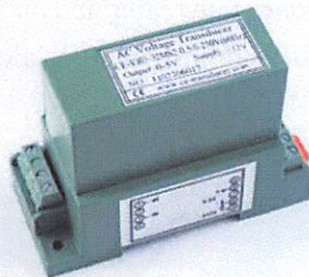


Figura 4.7: Sensor CE-VJ03-32MS2-0.5C[40].

En la Tabla 4.6, se detalla las características principales para los diferentes sensores de voltaje alterno.

Tabla 4.6: Tabla Comparativa Sensores de Voltaje.

Parámetros Técnicos	DSN-DVM-568AC	AC ZMP101B	CE-VJ03-32MS2-0.5C
Principio de Funcionamiento	Chip DSN-DVM-568	Transformador	Transformador
Rango de Medición	70 - 500 [V]	110 - 250 [V]	0 - 250 [V]
Frecuencia de Entrada	60 [Hz]	50 - 60 [Hz]	50 - 60 [Hz]
Tiempo de Respuesta	300 [ms]	500 [ms]	300 [ms]
Error	±1 %	±1.5 %	±0.5 %
Temperatura de Trabajo	-20 a +65 [°C]	-40 a +70 [°C]	0 a +50 [°C]
Corriente de Operación	2 [mA]	2 [mA]	15 [mA]
Alimentación	70 - 500 [VAC]	5 [VDC]	12 [VDC]
Dimensiones	48 x 29 x 22 [mm]	50 x 20 x 24 [mm]	83 x 57.5 x 63 [mm]
Peso	25 [gr]	20 [gr]	50 [gr]
Costo	\$ 4	\$ 5	\$ 100
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo	Determinadas zonas geográficas

Elaborado por: Investigador

De acuerdo al análisis de las diferentes características técnicas, el modulo sensor de voltaje a utilizarse es el DSN-DVM-568AC debido a que ofrece un alto grado de precisión, mínimo error en la medición, fácil adquisición de la señal análoga que va hacia el controlador.

C. Microcontroladores

En lo que se refiere a microcontroladores se analiza las diferentes placas electrónicas que permitan adquirir y procesar las señales análogas provenientes de los diferentes sensores e interactúe con la tecnología inalámbrica.

Particle Photon: La serie Particle Photon es una placa desarrollada por Particle, basada en la arquitectura WICED de Cypress, que combina un gran procesador STM32F205 ARM Cortex M3 y un chip Cypress Wifi enfocado en la construcción de dispositivos del Internet de las cosas. El microcontrolador utiliza hardware escalable de código abierto, un conjunto de herramientas de desarrollo local, además de un completo grupo de elementos para la administración de dispositivos en la nube. En sus aplicaciones ofrece una gran cantidad de opciones permitiendo crear redes de sensores comerciales, hogares inteligentes, etc. [42].

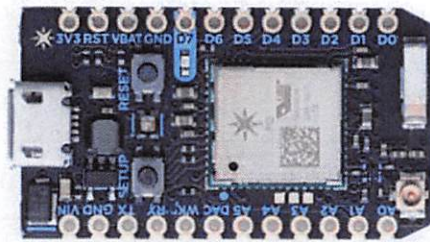


Figura 4.8: Particle Photon[41].

Arduino Pro Mini: Es una placa electrónica que hace uso de un entorno de desarrollo basado en el procesador ATMega328P, existen dos versiones una que corre a 16MHz y 5V, y la otra a 8MHz y 3,3V; cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida de los cuales 6 están disponibles para ser usados como canales PWM, 8 entradas analógicas, un resonador integrado, un botón de reinicio y carece de hardware para la comunicación USB por lo que se requiere de una tarjeta adicional para su programación.

La placa viene sin encabezados preinstalados, lo que facilita el uso de varios tipos de conectores o la soldadura directa de cables. Arduino Pro Mini está diseñado para la instalación permanente, semipermanente en objetos y aplicaciones donde el tamaño es una limitante [43].

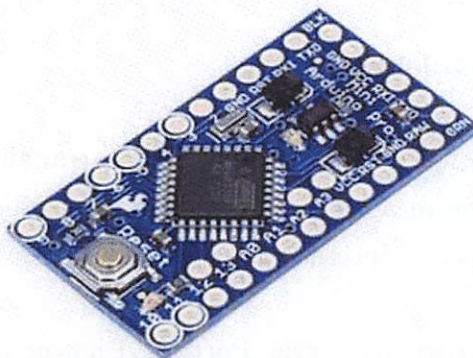


Figura 4.9: Arduino Pro Mini[42].

Tessel 2: Es una placa de desarrollo de fuente abierta que emplea un chip Mediatek MT7620n de 580MHz, y un coprocesador Atmel SAMD21 de 48MHz, la placa permite el funcionamiento más rápido de las entradas y salidas en tiempo real y una mejor administración de energía, también se puede ampliar sus capacidades al enchufar módulos de 10 pines que permiten interactuar con el mundo físico mediante sensores y actuadores, USBs usados en periféricos de cámara y

almacenamiento flash, además de módulos creados por la comunidad open source.

Las secuencias de comandos se pueden construir con Node.js. Asimismo, trae incorporado un puerto Ethernet y WiFi 802.11b/g/n. Tessel 2 es una plataforma para desarrollar, rediseñar, crear aplicaciones y producir hardware integrado, perfecto para el Internet de las cosas[44, 45].

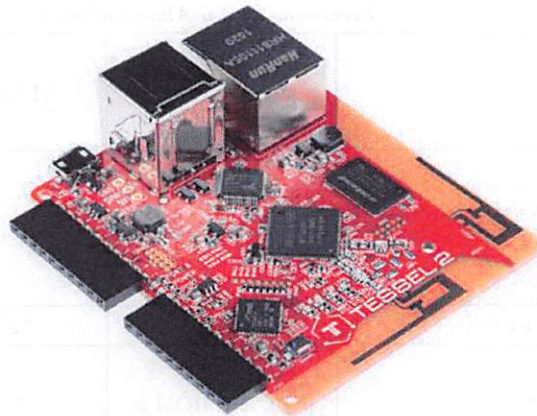


Figura 4.10: Tessel 2 [44].

A continuación, se realiza un análisis técnico comparativo de los microcontroladores más sobresalientes y empleados en el desarrollo de aplicaciones para el Internet de las cosas.

De acuerdo a los parámetros de la Tabla 4.7 y considerando las especificaciones técnicas como ,la velocidad de procesamiento, las características de seguridad, el tipo de la conectividad a emplearse, la compatibilidad con los diferentes módulos asociados al soporte, a la gran cantidad de recursos disponibles y herramientas de desarrollo se ha elegido al microcontrolador Arduino Pro Mini debido a la facilidad de integrarlo en el desarrollo de aplicaciones IoT además de ser de fácil adquisición y de un costo totalmente accesible.

Tabla 4.7: Tabla Comparativa de Microcontroladores.

Parámetros Técnicos	Particle Photon	Arduino Pro Mini	Tessel 2
<i>Adquisición y Control de Datos</i>			
GPIO Pins	8 Análogas ADC, 2 Análogas DAC, 18 Digitales, 9 PWM	8 Análogas, 14 Digitales, 6 PWM	11 Análogos, 16 Digitales, 4 PWM
Nivel de Voltaje Lógico	3.3 [V]	5 [V]	3.3 [V]
<i>Procesamiento y Almacenamiento de Datos</i>			
Procesador	STM32F205 ARM Cortex M3	ATMega328P	Mediatek MT7620n Coprocesador Atmel SAMD21
Velocidad del máxima del procesador	120 [MHz]	16 [MHz]	Procesador 580 [MHz], Coprocesador 48 [MHz]
Memoria Flash	1 [MB]	32 [MB]	32 [MB]
EEPROM	EEPROM 1: 16 [KB], EEPROM 2: 64 [KB]	1 [KB]	-
RAM	128 [KB]	2 [KB]	64 [KB]
<i>Conectividad</i>			
Interfaces de Red	Ethernet, Wifi 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2	Ethernet, Wifi, Bluetooth	Wifi, Bluetooth, GPS
Comunicación	I2C, I2S, SPI, USB	I2C, SPI, UART	I2C, SPI, UART, USB
<i>Fuente</i>			
Fuente de Alimentación Recomendada	4.8 [V] micro USB o 3.6VDC - 5.5VDC Pin VIN	5 [V]	5 [V] micro USB
Corriente Máxima	1 [mA]	150 [mA]	-
Corriente por Pin	± 25 [mA]	20 [mA]	-
<i>Otros</i>			
Dimensiones	36.58 x 20.32 x 6.86 [mm]	18 x 34[mm]	65 x 55.5 x 12 [mm]
Peso	5 [gr]	2 [gr]	-
Costo	\$ 20	\$8	\$ 50
Accesibilidad	Determinadas zonas geográficas	Cualquier parte del mundo	Determinadas zonas geográficas

Elaborado por: Investigador

D. Computadores de Placa Única - Single Board Computers (SBCs)

Para almacenar los datos provenientes de los diferentes nodos se necesita dispositivos IoT de nivel alto que soporten el tráfico de información y permitan llevar los mismos hasta la nube.

Raspberry Pi 3 Modelo B +: El computador de placa única Raspberry Pi 3 Modelo B Plus fue desarrollado por la Fundación Raspberry Pi en el Reino Unido y apareció a inicios del año 2018, con un procesador de cuatro núcleos Cortex-A53 (ARMv8) de 1.4GHz Broadcom BCM2837B0 de 64 bits y 1GB de RAM, permitiendo conectar una gran variedad de dispositivos periféricos, además de ofrecer más memoria, gran potencia de procesamiento, el puerto GPIO fue extendido, incluye la conectividad Inalámbrica LAN de doble banda, Gigabit Ethernet sobre el USB 2.0 y Bluetooth de bajo consumo de energía, Soporta varios sistemas operativos generalmente distribuciones de Linux [46].

Se puede ampliar las capacidades del dispositivo mediante la adición de tarjetas de expansión apilables conocidas como sombreros. Sus aplicaciones son varias debido a que existen muchas herramientas y opciones de lenguaje disponibles para desarrollar aplicaciones en telecomunicaciones, redes de sensores, domótica, IoT, etc. [47].

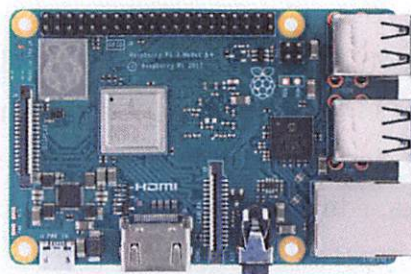


Figura 4.11: Raspberry Pi 3 Modelo B Plus [45].

BeagleBone Black : La BeagleBone Black es una plataforma de desarrollo, de código abierto de bajo consumo, producida por Texas Instruments, equipada con un procesador ARM Cortex -A8, viene con el sistema operativo Debian GNU/Linux en flash incorporado, pero también puede trabajar con otros sistemas operativos y distribuciones de Linux, las capacidades de esta computadora de bolsillo se pueden extender añadiendo placas llamadas capas que se pueden

enchufar en los dos cabezales de expansión de 46 pines[48, 49].

Actualmente vienen en dos versiones la BeagleBone Black que trae una interfaz ethernet mientras que la BeagleBone Black Wireless sustituye el puerto ethernet por Wifi y Bluetooth 4.1 a bordo de 802.11 b/g/n a 2,4 GHz. Entre sus aplicaciones tenemos la robótica, controladores de motor, seguridades de datos, etc. [48, 49].

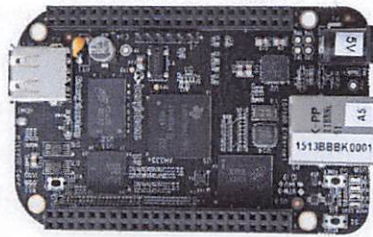


Figura 4.12: BeagleBone Black [47].

DragonBoard 410c: DragonBoard 410c es un ordenador de placa única desarrollada por Qualcomm que emplea un procesador ARM Cortex -A53 de cuatro núcleos a una velocidad de hasta 1,2 GHz por núcleo con soporte en 32 bits y 64 bits. También posee gran capacidad de procesamiento, reproducción y captura de video en alta definición, cuenta con las interfaces de Wifi, Bluetooth 4.1 y GPS. Soporta varios sistemas operativos como Linux, Windows 10 IoT Core [50].

El DragonBoard 410c está diseñado para admitir el desarrollo avanzado de software todo esto lo hace eficaz para integra recursos y productos del Internet de las cosas (IoT) siendo aplicable en la robótica, cámaras, dispositivos médicos, telecomunicaciones, edificios inteligentes, y mucho más[50].

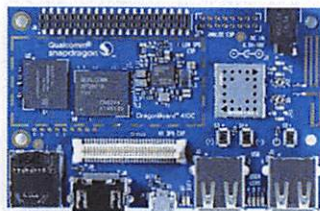


Figura 4.13: DragonBoard 410c [49].

A continuación, se desarrolla un análisis técnico comparativo de las especificaciones de los computadores de placa única descritos anteriormente.

Tabla 4.8: Tabla Comparativa Computadores de placa única.

Parámetros Técnicos	Raspberry Pi 3 Modelo B Plus	BeagleBone Black	DragonBoard 410c
<i>Adquisición y Control de Datos</i>			
GPIO Pins	40 E/S Incluidos los 29 Digitales	65 Digitales E/S, 8 PWM, 7 Entradas Análogas	12 Digitales
Nivel de Voltaje Lógico	3.3 [V]	3.3 [V]	1.8 [V]
<i>Procesamiento y Almacenamiento de Datos</i>			
Procesador	Cortex-A53 (ARMv8)	ARM Cortex A8	ARM Cortex A53
Velocidad del máxima del procesador	1.4 [GHz]	1 [GHz]	1.2 [GHz]
Memoria	1GB LPDDR2, SDRAM, 450 [MHz]	512MB DDR3, 800 [MHz] x 16, 4GB eMMC	1GB LPDDR3 533 [MHz], 8GB eMMC 4.5
Núcleos	4	2	4
Almacenamiento	SD	SD	SD 3.0 (UHS-1)
<i>Conectividad y Ubicación</i>			
Interfaces de Red	Ethernet, Wifi 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2	Ethernet, Wifi, Bluetooth	Wifi, Bluetooth, GPS
<i>Interfaces E/S</i>			
Video	HDMI, MIPI DSI display	microHDMI	HDMI tipo A
Audio	Salida stéreo de 4 polos	microHDMI	Auriculares stéreo
USB	4 USB 2.0, 1 micro USB	1 USB 2.0	1 micro USB
Expansión Otros	Si	Si	Si
<i>Otros</i>			
Fuente de Alimentación Recomendada	5 [V], 2.5 [A] micro USB Puerto	5 [V], 1.2 a 2 [A]	6.5 a 18 [V], 2 [A]
Dimensiones	85x56 [mm]	86.36x53.34 [mm]	83.82x53.34 [mm]
Costo	\$ 40	\$110	\$ 150
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Determinadas zonas geográficas	Determinadas zonas geográficas

Elaborado por: Investigador

En base a las especificaciones de la Tabla 4.8 el ordenador de placa única seleccionado es la Raspberry Pi 3 Modelo B Plus para realizar la concentración, coordinación de los datos y constituirse en el servidor debido a que soporta los

diferentes componentes y protocolos de red para comunicarse con los servicios y las aplicaciones de la nube, además de ser de fácil accesibilidad y de bajo costo.

E. Tecnologías de Red IoT

A. Bluetooth Low Energy: Bluetooth Low Energy es una tecnología inalámbrica desarrollada por Bluetooth Especial Interest Group (SIG), diseñada para operar en aplicaciones de corto alcance (no más de 100 metros), garantizando un ultra bajo consumo de energía, y tiempos bastantes breves de establecimiento de conexión, generalmente trabaja en una configuración estrella, con un único dispositivo principal que controla varios dispositivos secundarios, su arquitectura está basada en tres partes principales; Controller, Host, Applications, por lo tanto hace uso de la capa física y de la capa de enlace del modelo OSI. Sus aplicaciones más frecuentes son: Transferencia de audio y datos, Dispositivos de salud, bienestar, periféricos y accesorios electrónicos, Servicios de localización, control y monitoreo, Redes de dispositivos a gran escala [51, 52, 53].

B. ZigBee: ZigBee es un protocolo de redes inalámbricas desarrollado por Zigbee Alliance, que opera en las capas física, enlace, red y aplicación del modelo OSI, brindando varias opciones de transmisión, incluyendo transmisión, groupcast y unicast. Facilita la comunicación de banda cruzada en bandas de 2.4GHz, permitiendo su operatividad globalmente gracias al estándar IEEE 802.15.4. También incluye mecanismos de ahorro de energía para toda clase de dispositivos, ofreciendo soluciones IoT de baja potencia, certificables y sobretodo con coberturas a distancias de más de 100 metros llegando hasta kilómetros. Su versatilidad ha hecho que esté presente en un gran número de aplicaciones tales como: Servicios de monitoreo en la meteorología, Control industrial en manejos de cargas, Sistemas integrados inteligentes para la administración de energía, Plataformas médicas en la nube [54, 55].

C. LTE MTC: La tecnología inalámbrica de red de área de baja potencia Long Term Evolution Category , conocida también como LTE-M fue desarrollada por Third Generation Partnership Project (3GPP). Está destinada a proporcionar específicamente servicios IoT, de bajo consumo energético, centrándose en coberturas de largo alcance entre un gran número de dispositivos, usando el mismo espectro y las estaciones bases de las redes celulares existentes. Asimismo, puede coexistir con redes móviles 2G, 3G y 4G beneficiándose de todas las caracterís-

ticas de seguridad y privacidad de las redes móviles, además es una tecnología muy adaptable debido a que se comporta bien en escenarios donde se requiere la adecuada optimización en la velocidad de datos. Dentro de sus aplicaciones más populares están: Monitoreo ambiental, informes de estado de cobertura de alcantarillas, alertas para niveles de emisiones químicas, Aplicaciones agrícolas, Iluminación inteligente, Monitoreo remoto clínico [56, 57].

D. Wi-Fi: Wi-Fi es una tecnología inalámbrica estándar basada en las especificaciones IEEE 802.11n que se propaga mediante ondas electromagnéticas, que utiliza a OFDM como esquema de uso múltiple, admitiendo la comunicación en las bandas ISM de 2,4GHz y 5GHz, incluyendo además tecnologías MIMO. Las características de wi-fi más sobresalientes consisten en movilidad debido a que permite que los diferentes dispositivos se puedan conectarse dentro del área de cobertura de la red, tener costos mínimos, flexibilidad brindando acceso en cualquier lugar sin el requerimiento de realizar grandes cambios y escalabilidad dando facilidades para la extensión de la red [58].

Los estándares de las redes más comúnmente empleados se describen a continuación [59]:

- *IEEE 802.11a:* Apareció en el año de 1999 brindando velocidades de 54 Mbps e incluso permitiendo alcanzar los 72 y 108 Mbps con versiones propietarias de esta tecnología, trabajando en la banda de 5GHz, y utilizando la técnica OFDM.
- *IEEE 802.11b:* Es un estándar desarrollado en 1999, que emplea solamente DS-SS y utiliza modulación con forma de onda CCK (Complementary Code Keying) lo que permite alcanzar hasta 11 Mbps de velocidad.
- *IEEE 802.11g:* Por el año de 2003 aparece el estándar 802.11g con el propósito de aumentar la velocidad operando sobre la banda de los 2.4 GHz, logrando transmitir datos a 54 Mbps que en promedio es de 22 Mbps de velocidad real de transferencia, siendo compatible con el protocolo 802.11a/b gracias a que puede operar con las tecnologías OFDM y DS-SS.
- *IEEE 802.11n:* El estándar 802.11n desarrollado en el año 2009 operando a 2.4 GHz y 5.4 GHz y facilitando utilizar un gran número de canales para enviar y recibir datos simultáneamente, mejorando las señales recibidas y multiplicándose de esta forma el ancho de banda utilizado dando paso a la tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output). Teniendo una alta tasa de modulación, reducción de cabeceras.

- *IEEE 802.11ac*: Desarrollado entre los años 2012 y 2013, brindando tasas de transferencia de 1Gbps en la banda de 5GHz, con anchos de banda de 160 MHz, ocho flujos MIMO y modulación de alta densidad llegando a distancias de 90 a 100 metros dependiendo del hardware.

Tabla 4.9: Tabla Comparativa Tecnologías Inalámbricas.

Tecnología	Bluetooth	WI-FI	ZigBee	LTE-MTC
Parámetros	Low Energy			
Estándar	802.15.1	802.11n	802.15.4	3GPP
Topología	Piconet, Scatternet	Mesh, Estrella, Árbol	Mesh, Punto a punto Estrella, Árbol	Punto a punto, Multipunto, Mesh
Velocidad	1 Mbps	2, 11, 54, 450, 866,7 Mbps	250 Kbps	10 Mbps
Alcance	1 – 10 m	1 – 100 m	10 – 300 m	500 Km
Tipo de Red	WPAN	WLAN, Ad – Hoc	WPAN	WMAN, HyperMAN
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 – 5 GHz	2.4 GHz	1800 MHz
Técnica de Acceso	FDMA, TDMA	CSMA - CA	CSMA - CA	OFDMA, SC - FDMA
N° de canales	40	11	26	-
Modulación	GFSK	OFDM, CCK, BPSK, M-QAM	O-QPSK, BPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM
Consumo Energético	Ultra bajo	Bajo	Ultra bajo	Ultra bajo

Elaborado por: Investigador

Concluido el análisis técnico comparativo detallado en la Tabla 4.9 se selecciona la tecnología Wi-Fi para el desarrollo de la red inalámbrica de sensores debido a que facilita la integración de los diferentes nodos por sus características de gran alcance y velocidad en la transmisión, además de la interacción con la plataforma de recolección y visualización de los datos.

4.3. Diseño del Sistema de Monitoreo y Telegestión

Finalizado el proceso de selección de los diferentes elementos de hardware que permiten cuantificar, visualizar y obtener reportes del consumo eléctrico; se procede a la etapa de desarrollo del sistema de monitoreo y telegestión que facilita el análisis del diferente comportamiento de las cargas eléctricas, a continuación en la Figura 4.14 se describe las siguientes etapas:

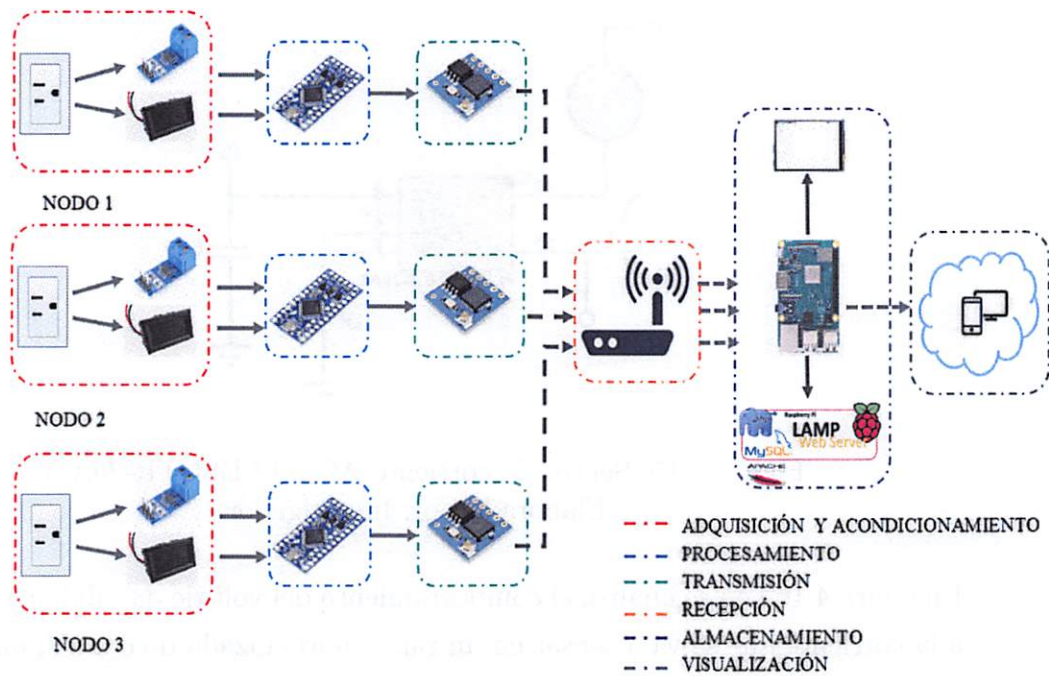


Figura 4.14: Diseño del Sistema de Monitoreo y Telegestión.
Elaborado por: Investigador

4.3.1. Acondicionamiento de Señales

La etapa de acondicionamiento de las señales constituye una parte importante de la investigación, ya que del correcto funcionamiento de las mismas depende la fiabilidad en el prototipo. En esta etapa se obtiene la lectura de los valores analógicos de los sensores (corriente y voltaje) de los nodos, por lo tanto, éstas señales deben ser tratadas con alta rigurosidad para garantizar un correcto funcionamiento del sistema. A continuación, se detalla el proceso de acondicionamiento que se realizó a las señales de acuerdo a su procedencia analógica.

A. Sensor de Corriente ACS712 ELCTR-20A-T:

El sensor de corriente ACS712 ELCTR-20A-T proporciona un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0 amperios y a partir de éste incrementa proporcionalmente de acuerdo a la sensibilidad. La señal de salida del dispositivo presenta una pendiente positiva cuando una corriente creciente fluye a través del cobre primario de conducción, desde los pines 1-2 hasta los pines 3-4 que es la ruta utilizada para el muestreo como se observa en la Figura 4.15 y Figura 4.16 (A). La resistencia interna es de $1,2 \text{ M}\Omega$ proporcionando pérdidas de potencia muy pequeñas [37].

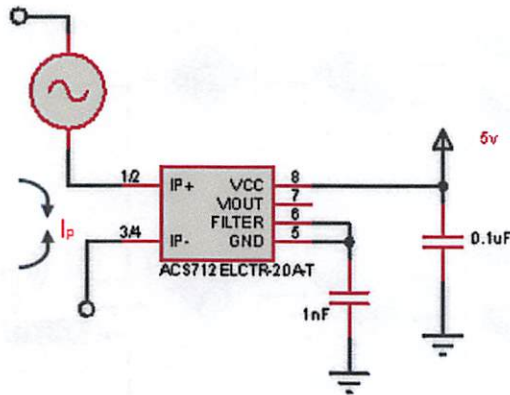


Figura 4.15: Sensor de corriente ACS712 ELCTR-20A-T.
Elaborado por: Investigador

En figura 4.16 (A) se analiza el comportamiento del voltaje de salida con respecto a la corriente que se va a sensor en un rango normalizado de 0 a 5V, en igualdad de condiciones la Figura 4.16 (B) muestra la variación de la sensibilidad respecto a la corriente para una alimentación de 5V y temperatura ambiente de 25°C, es decir, en la salida se tiene 100mV por cada Amperio.

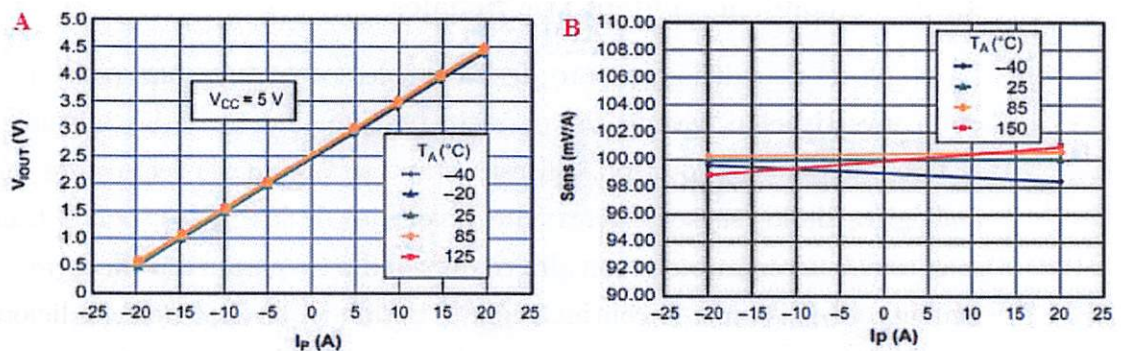


Figura 4.16: V_o vs I_P - Sensibilidad vs I_P.
Elaborado por: Investigador

La ecuación 4.1 describe el comportamiento del sensor:

$$V = V_{out} + sensibilidad(I - I_{out})$$

$$V_{out} = 2.5 + 0.1 * I$$

$$I_P = \frac{V_{out} - 2.5}{sensibilidad} \quad (4.1)$$

Para la corriente alterna se define por la ecuación 4.2:

$$I_P = \frac{V_{out} - 2.5}{0.1}$$

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \quad (4.2)$$

En relación al análisis realizado anteriormente se determina que no es necesario ningún acoplamiento adicional por parte del investigador sin embargo hay que tener cuidado con la posición del sensor para que los valores medidos no sean negativos.

B. Sensor de Voltaje DSN-DVM-568AC

El voltímetro digital de panel DSN-DVM-568AC proporciona el valor de voltaje alterno sentido a través de un display de 3 dígitos. En base al análisis técnico comparativo de la Tabla 4.6 es necesario que el sensor sea sometido a un proceso de ingeniería a la inversa para adquirir y procesar la señal correspondiente, direccionándola hacia el microcontrolador.

Se procede a analizar la placa electrónica del voltímetro digital DSN-DVM-568AC de forma más detallada para determinar los componentes más sobresalientes como se puede observar en la Figura 4.17.

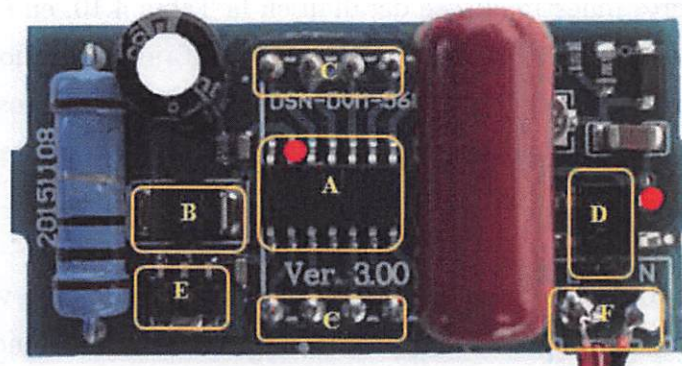


Figura 4.17: Descripción de componentes del sensor DSN-DVM-568AC.
Elaborado por: Investigador

- **A:** Controlador Central, por motivos de derechos de autoría y políticas de seguridad no se puede analizar porque su acceso esta restringido por parte del fabricante.
- **B:** Supresor de transitorios, es un diodo que ayuda a eliminar los transitorios de tensión definidos como picos de corta duración de energía eléctrica facilitando una medición del voltaje alterno de manera exacta.

- **C:** Bus de datos de conexión al display, salida de los datos hacia el display de tres dígitos para visualizar el voltaje obtenido.
- **D:** Fuente de alimentación, está constituida por la parte de la conversión de corriente alterna a corriente continua para poder energizar a la placa electrónica, tendiendo entre sus etapas rectificación, filtración y regulación de corriente continua.
- **E:** Salidas del regulador 7805, salida de del suministro de voltaje a 5V de corriente continua para alimentación al microcontrolador central.
- **F:** Bus de conexión AC, salidas hacia la alimentación de voltaje alterno a través de las líneas de fase (color rojo) y neutro (color negro).

Identificados los pines de conexión hacia el microcontrolador señalados con los puntos rojos en la Figura 4.17 que permiten obtener el valor referencial de la señal que representa el voltaje alterno detectado, a través de un multímetro colocado en el pin 13 del microcontrolador se determinan los valores analógicos, con esto se realiza un análisis de las diferentes muestras.

Los valores muestreados se detallan en la Tabla 4.10, en ésta se puede identificar que a medida que se va incrementando el voltaje de alterno de 5 [V] en 5 [V] se tiene una variación en el pin analógico de 0.02 [V]. Con los datos de la tabla se aplica el método de linealización por mínimos cuadrados para determinar la ecuación que define el valor de voltaje alterno real detectado.

El método de mínimos cuadrados sirve para interpolar valores, es decir, se usa para buscar valores desconocidos usando como referencia otras muestras del mismo evento. Se aplica para ajustar una recta a una serie de datos presentados como puntos en el plano. Comúnmente es utilizado para presentar estudios experimentales, donde se estudia la variación de cierta magnitud x en función de otra magnitud y . Las ecuaciones (4.3) y (4.4) definen el método [60]:

$$\sum Y = Na + b \sum X \quad (4.3)$$

$$\sum XY = \sum Xa + b \sum X^2 \quad (4.4)$$

Donde:

- X representa la magnitud de voltaje alterno.

- Y representa la variación de voltaje en el pin analógico del microcontrolador.
- N representa el número de valores muestreados.

Tabla 4.10: Valores de voltaje muestreados.

N°	Voltaje AC [V]	Valor en[mV](pin13)
1	50	201
2	55	221
3	60	241
4	65	264
5	70	280
6	75	300
7	80	321
8	85	340
9	90	361
10	95	380
11	100	401
12	105	420
13	110	441
14	115	460
15	120	481
16	125	500
17	130	520
18	135	541
19	140	561
20	145	581
21	150	600
22	155	621

Elaborado por: Investigador

Reemplazando los valores correspondientes en las ecuaciones (4.3) y (4.4) se obtiene:

$$936 = 22a + 2255b$$

$$1014600 = 2255a + 253275b$$

Resolviendo se encuentran los valores: $a = 1.3754$, $b = 3.9936$ y por ende la ecuación final se expresa por la ecuación (4.5):

$$Y = a + bX$$

$$Y = 1.3754 + 3.9936X \quad (4.5)$$

La gráfica de la ecuación (4.5) se observa en la Figura 4.18 ésta permite generar la linealización de los valores de voltaje alterno convertidos en valores ADC con una resolución de 10 bits en función de los requerimientos del microcontrolador. Además de facilitar la predicción de los valores de voltaje hasta 600 voltios alternos.

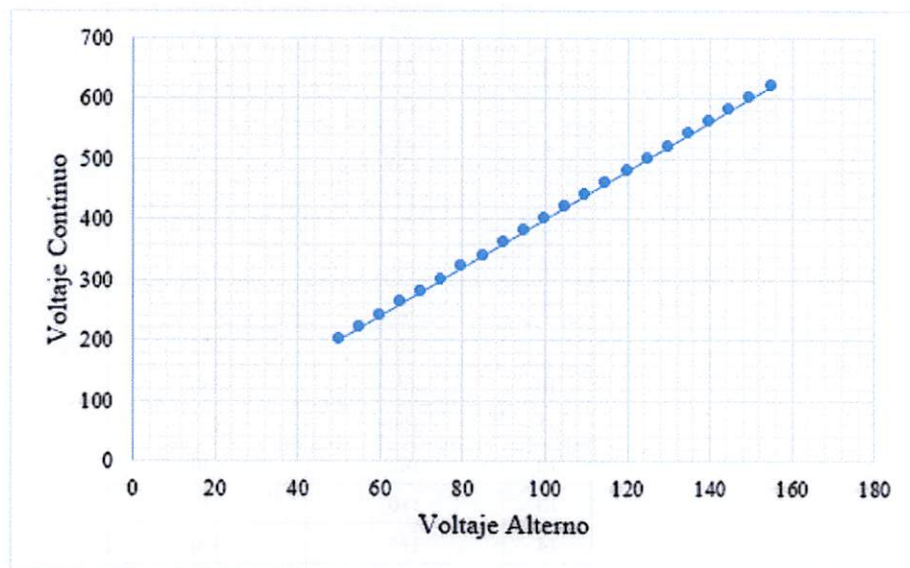


Figura 4.18: Valores linealizados de voltaje AC.
Elaborado por: Investigador

Finalmente se recalculan los valores de voltaje a partir de la ecuación de linealización obtenida que se pueden observar en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Valores recalculados de voltaje.

N°	Voltaje AC [V]	Valor en[mV](pin13)
1	50	201,0593
2	55	221,0277
3	60	240,9960
4	65	260,9644
5	70	280,9328
6	75	300,9012
7	80	320,8696
8	85	340,8379
9	90	360,8063
10	95	380,7747
11	100	400,7431
12	105	420,7115
13	110	440,6798
14	115	460,6482
15	120	480,6166
16	125	500,5850
17	130	520,5534
18	135	540,5217
19	140	560,4901
20	145	580,4585
21	150	600,4269
22	155	620,3953

Elaborado por: Investigador

De esta forma la ecuación descrita, ayuda en el desarrollo del algoritmo de programación que obtendrá el valor de voltaje AC.

4.3.2. Procesamiento de datos

La etapa de procesamiento de las señales de corriente y voltaje acondicionadas se describe en el esquema de la Figura 4.19. Para que éste procedimiento se dé sin ningún problema debido a sobretensiones o alteraciones con la alimentación se protege el circuito mediante un fusible y un varistor. El procesamiento se da lugar en el microcontrolador Arduino Pro Mini (Ver Anexo A), que se encarga de convertir las señales eléctricas análogas variantes en el tiempo en valores digitales que se puedan incluir en la trama que es redirigida hacia el puerto serial para establecer conexión con el modulo Wi-Fi (Ver Anexo B), que envía la información hasta el servidor alojado en la Raspberry Pi 3B+.

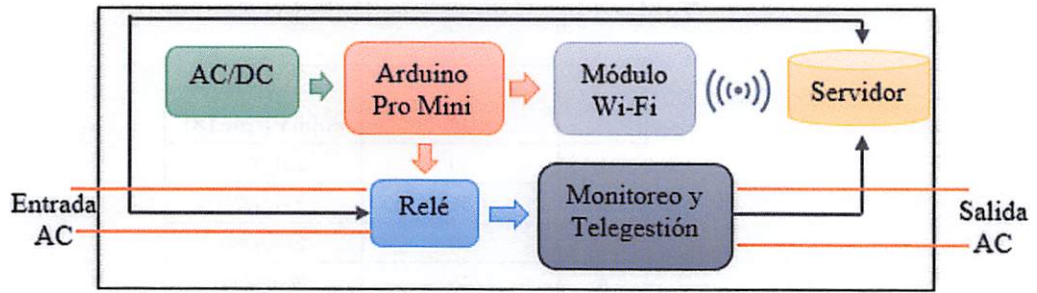


Figura 4.19: Esquema procesamiento de Datos.
Elaborado por: Investigador

La combinación de un fusible con un varistor protege el aislamiento de la placa electrónica contra sobretensiones. Esto quiere decir que el prototipo al contar con elementos sensibles a los picos de tensión necesitan de un circuito de protección en paralelo a la fuente de alimentación como se puede observar en la Figura 4.20. Cuando se somete a valores que sobrepasan la tensión umbral, ocurre un cortocircuito que corta el paso de la alimentación.

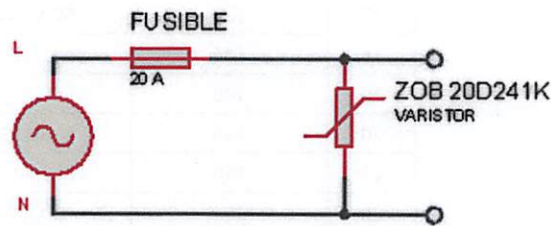


Figura 4.20: Circuito de Protección.
Elaborado por: Investigador

Una vez que se protege el circuito contra las sobretensiones provenientes de la fuente de alimentación se continúa con el proceso, para el siguiente punto se requiere de una fuente de continua para alimentar tanto el microcontrolador como los módulos y sensores como se muestra en la Figura 4.21.

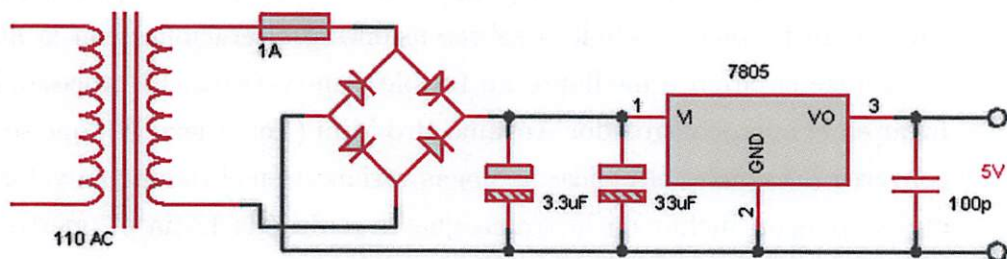


Figura 4.21: Circuito fuente de Alimentación.
Elaborado por: Investigador

4.3.3. Flujogramas de Procesos

El algoritmo de programación empleado para obtener, analizar, almacenar y visualizar las diferentes señales que actúan en el sistema de monitoreo y telegestión se detalla en el Anexo C. A continuación, se describen los sketch de programación cargados previamente en el Arduino Pro Mini para adquirir y procesar las señales.

A. CORRIENTE: El algoritmo que explica las líneas de código para adquirir la señal de corriente se describen en la Figura 4.22. La señal se obtiene a través del pin análogo A2 que corresponde al pin 16 de la placa microcontroladora.

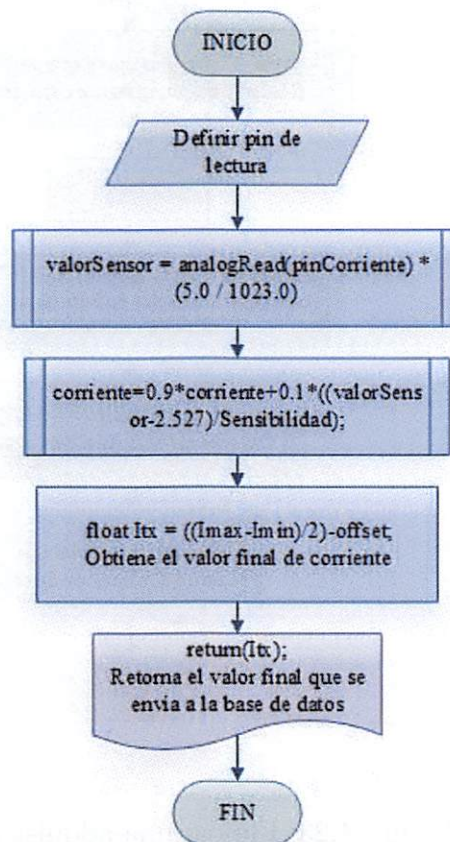


Figura 4.22: Flujograma adquisición de Corriente.
Elaborado por: Investigador

B. VOLTAJE: La Figura 4.23 describe el algoritmo desarrollado para obtener el valor de la señal de voltaje a través del pin 17 del Arduino Pro Mini. La señal de voltaje leída en el pin A3 es sometida a un proceso de muestreo (4000 muestras), posteriormente se determina el valor promedio y aplicando la ecuación de mínimos

cuadrados descrita en el apartado 4.3.1 parte B se obtiene el valor final que se almacena en la base de datos.

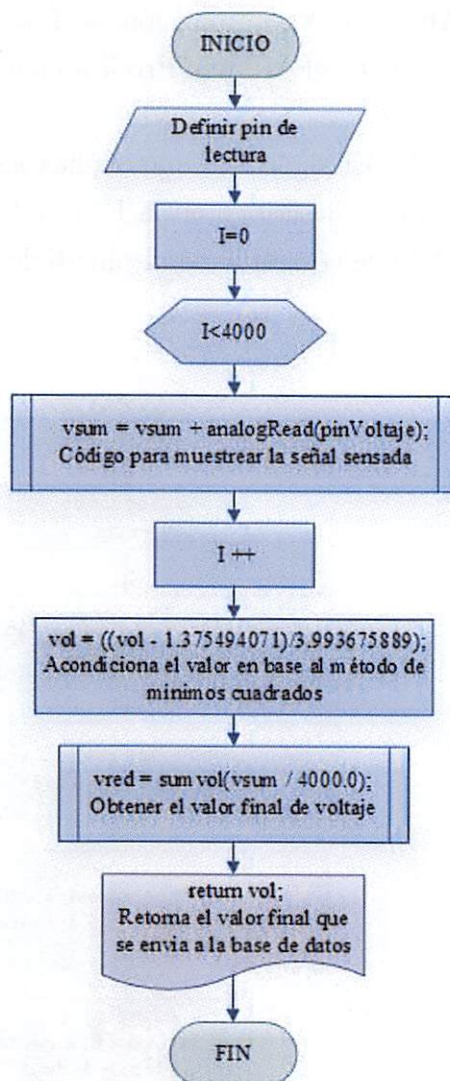


Figura 4.23: Flujograma adquisición de Voltaje.
Elaborado por: Investigador

C. TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN: El algoritmo de la Figura 4.24 explica la forma cómo los valores sensados se insertan en una trama que se envía hacia la base de datos a través del módulo WI-FI y los métodos post y get. En este caso como se tienen una red con 3 nodos se hace un reconocimiento y seteo de la MAC (Ver Anexo D) para poder conocer de cual de ellos proviene el valor que se almacena y pueda ser visualizado en la plataforma IoT.

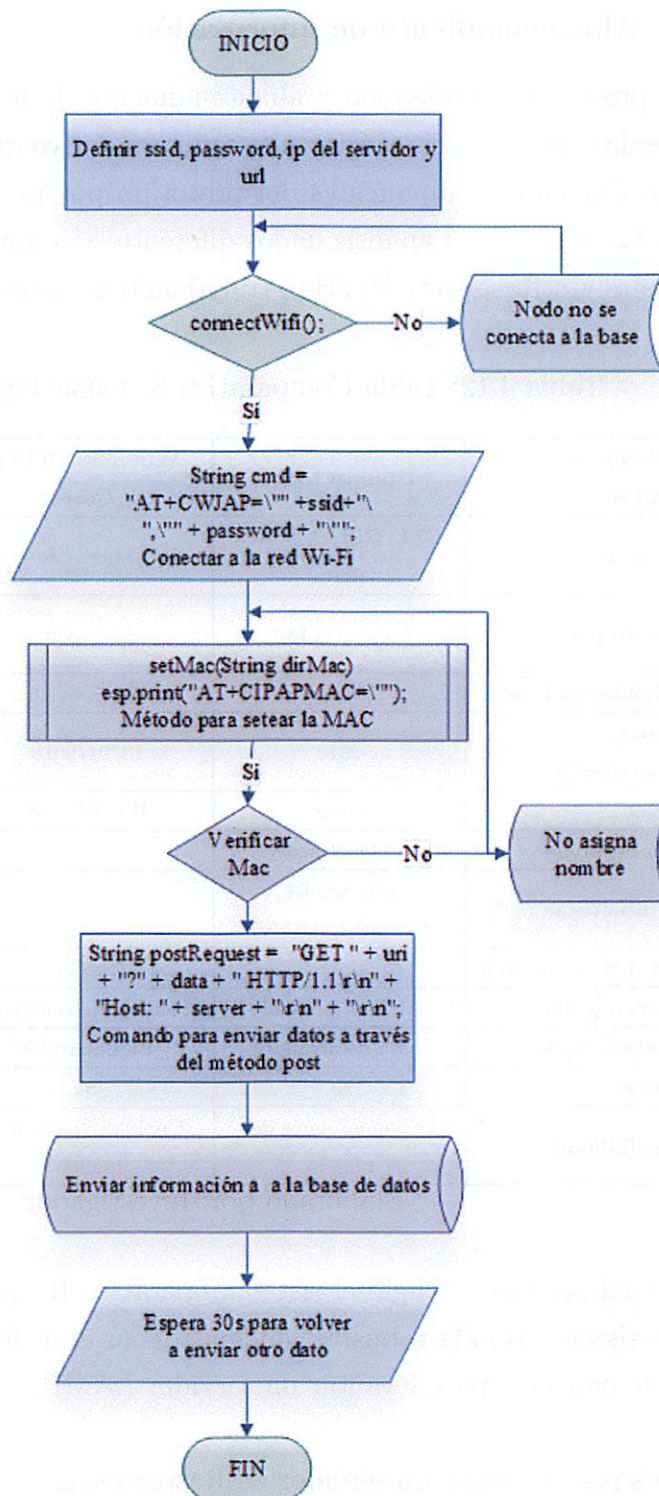


Figura 4.24: Flujograma Transmisión de la Información.
Elaborado por: Investigador

4.3.4. Almacenamiento de información

Para el proceso de recolección y almacenamiento de la información proveniente de los nodos fue necesario elegir un sistema operativo que permita la interacción entre los diferentes componentes del prototipo por lo que a continuación en la Tabla 4.12 se detalla el análisis de los diferentes sistemas operativos que pueden correr sobre un Raspberry Pi 3B+, trabajando de manera de manera estable.

Tabla 4.12: Tabla Comparativa Sistemas Operativos IoT.

Parámetros Técnicos	Ubuntu Mate	Windows 10 IoT Core	Raspbian Stretch Lite
Licencia	GPL, GPLv2 y otras libres	Microsoft	GPL, GPLv2 y otras libres
Desarrollador	Canonical Ltd.	Microsoft	Mike Thompson, Peter Green
Distribución base	Ubuntu	Windows 10	Debian Stretch
Ultimo Lanzamiento	2018	10/04/2018	2018
Núcleo	Linux	Windows 10	Linux
Tipo de núcleo	Monolítico	-	Monolítico
Arquitecturas	x86, x86-64, PowerPC, ARMv7	-	ARMv6, ARMv7
Gestor de paquetes	dpkg	OneGet	dpkg
Entorno gráfico	Mate y minimal	Sistema de ventanas	LXDE y minimal
Estado actual	En desarrollo	En desarrollo	REn desarrollo
Soporte	Si	Si	Si
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo

Elaborado por: Investigador

Después del análisis se eligió el sistema operativo Raspbian Stretch Lite debido a que este sistema brinda robustez, además de su gran facilidad para el manejo de paquetes para levantar un servidor LAMP.

Los pasos para levantar un servidor en Raspbian son:

- Descargar el sistema operativo disponible en la pagina oficial de Raspberrry, siguiendo el enlace: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>
- Formatear la MicroSD para bootear el sistema operativo.
- Configurar idioma, ajustes de super-usuario y las interfaces de conexión.

- Actualizar los paquetes a través del terminal empleando los comandos: *sudo apt-get update* y *sudo apt-get upgrade*.

- Instalar Apache 2 mediante las siguientes líneas de comando:

```
sudo apt-get install apache2 -y  
sudo a2enmod rewrite  
sudo service apache2 restart
```

- Instalar PHP: *sudo apt-get install php libapache2-mod-php -y* y para reiniciar el servicio: *sudo service apache2 restart*.

- Instalar el motor de base de datos a través de los siguientes líneas de comando:

```
sudo apt-get install mysql-server php-mysql -y  
sudo service apache2 restart
```

- Para administrar la base de datos es necesario instalar phpmyadmin de la siguiente manera: *sudo apt-get install phpmyadmin -y*.

Como punto final se debe configurar los permisos necesarios para establecer conexiones entre todas las partes que conforman el servidor.

4.3.5. Interfaz de Visualización

La visualización de las variables sensadas y la interacción con el usuario se puede realizar de dos formas: mediante una interfaz de visualización desarrollada con Atom y a través de una pantalla Touch Screen TFT de 3.5" montada sobre la Raspberry Pi cuya configuración se encuentra en el Anexo E. Las dos opciones permiten visualizar la página web para acceder al Sistema de Monitoreo y Telegestión, así como desde cualquier dispositivo terminal ingresando la dirección del servidor.

Atom: Es un desarrollador de código de fuente abierta, perteneciente a GitHub, que funciona sobre plataformas como Mac, Windows, Linux, que permite elegir de entre miles de paquetes de código abierto que agregan nuevas características, funcionalidades, creación de paquetes desde cero, además, permite trabajar y editar códigos en tiempo real de forma remota soportando lenguajes como HTML, CSS, GitHub, C/C++, C#, Java, Javascript, JSON, CoffeeScript, Python, PHP, Ruby, Shell Script, Perl, Git, Property List(Apple), TOML, XML, YAML, , Julia

& SQL, constituyéndose en una gran herramienta para el desarrollo web [61]. En la Figura 4.25 se puede observar la interfaz de usuario desarrollada, en primera instancia se debe hacer un logeo de los datos del usuario para ingresar a la página principal que consta de los siguientes menús:

- *Home*: Es la página de bienvenida y que permite regresar al inicio desde cualquiera de los otros sitios.
- *Información*: Describe las estadísticas actuales del consumo energético en el sector residencial.
- *Monitoreo y Telegestión*: Comprende tres submenús, el primero hace referencia a las magnitudes eléctricas en el que se puede observar el comportamiento de las variables de voltaje, corriente y potencia, el segundo al consumo total de energía (por hora, diario, semanal y mensual) y el costo del mismo; el tercero se refiere a la parte de la telegestión en la que el usuario puede activar o desactivar el paso de energía a una carga.
- *Fotografías*: Se dispone de fotografías acerca del prototipo.
- *Contactos*: Contiene datos informativos del investigador.



Figura 4.25: Pagina principal sistema de Monitoreo y Telegestión.
Elaborado por: Investigador

Acceso a la Interfaz de Monitoreo y Telegestión

Para visualizar las gráficas correspondientes a la corriente, voltaje y potencia consumidas por las diferentes cargas en la página de Inicio (Ver Figura 4.25) dirigirse al menú Monitoreo y Telegestión, luego dar clic en el submenú Magnitudes Eléctricas para redireccionar a la página que se observa en la Figura 4.26, en el menú desplegable seleccionar la carga que se desea conocer el consumo de corriente, voltaje y potencia consumidos.

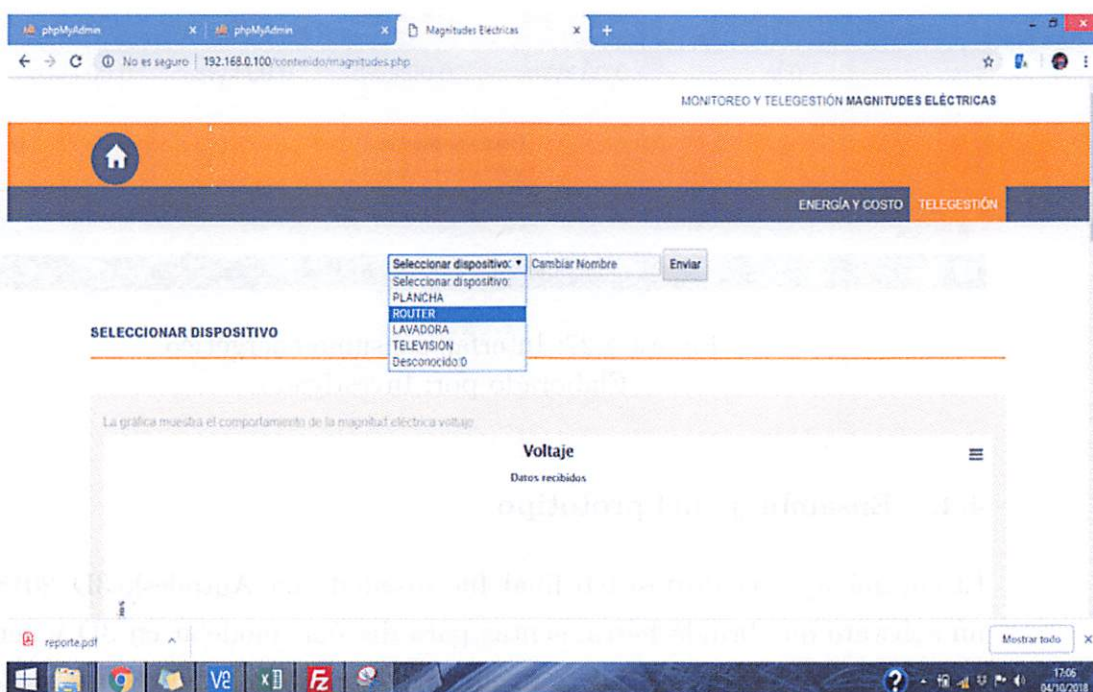


Figura 4.26: Interfaz magnitudes eléctricas.
Elaborado por: Investigador

Para conocer el consumo energético en kilovatios hora y el costo total por el servicio dirigirse al menú Monitoreo y Telegestión, dar clic en el submenú Magnitudes Eléctricas, en la parte superior derecha seleccionar la pestaña de Energía y Costo. La página se redirecciona a la interfaz que se muestra en la Figura 4.27, aquí se detalla el costo y consumo energético diario, semanal y mensual. Además, en la parte inferior izquierda se encuentra un botón que genera el reporte del consumo energético total en formato PDF.

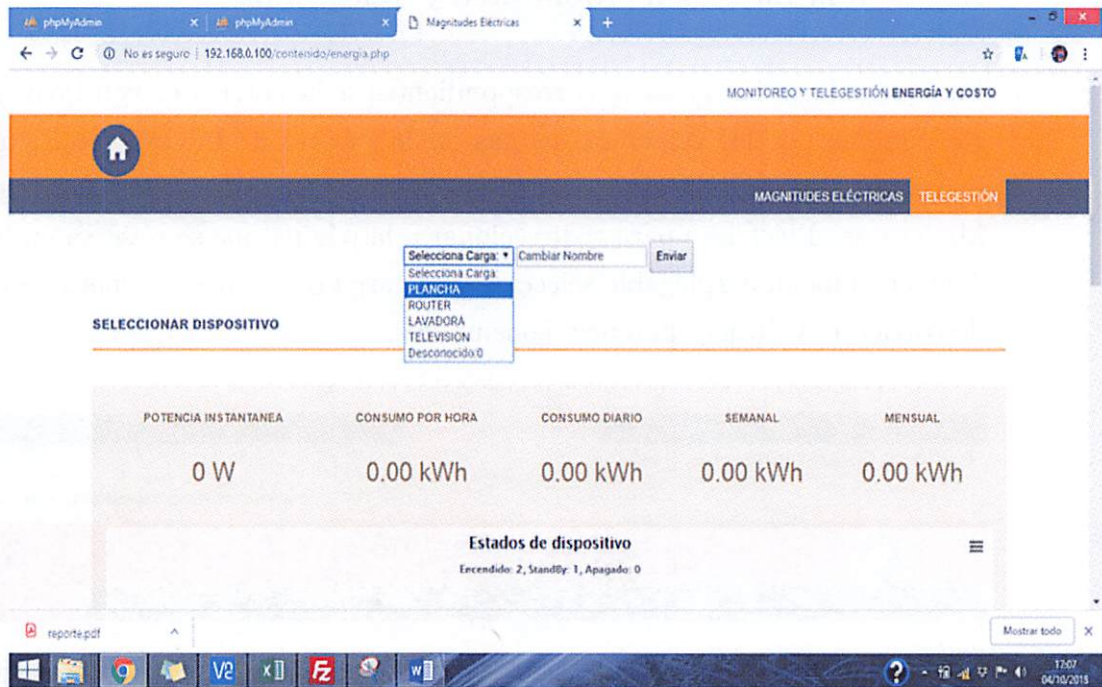


Figura 4.27: Interfaz consumo energético.
Elaborado por: Investigador

4.4. Ensamblaje del prototipo

El ensamblaje del dispositivo final fue diseñado en Autodesk 3D 2018 que es un software que brinda herramientas para diseñar, modelar en 3D y generar un archivo de extensión STL. Esto facilita la impresión en 3D de un case como se observa en la Figura 4.28 para proteger y sobretodo aislar la parte electrónica al momento de recoger las variables, garantizando la interacción de los diferentes nodos con el servidor.

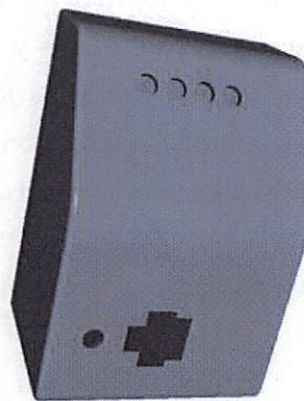


Figura 4.28: Diseño 3D del Prototipo.
Elaborado por: Investigador

4.4.1. Diagrama Esquemático

La realización del diagrama esquemático a emplearse en el presente proyecto de investigación, fue desarrollado en Autodesk Eagle que es un software de automatización de diseño electrónico que permite crear circuitos esquemáticos, con funciones personalizadas. El circuito esquemático del sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico se detalla en la Figura 4.29.

El esquema está constituido por diferentes componentes electrónicos, en primer lugar se tiene el microcontrolador arduino que procesa los datos recogidos por los sensores de corriente y voltaje, establece el vínculo al módulo Wi-Fi que es el encargado de establecer la conexión con el servidor que esta alojado en la Raspberry Pi. El circuito también esta formado por un relay que se encarga de activar o desactivar el paso de la corriente alterna par poner en funcionamiento las cargas eléctricas. Adicionalmente se dispone de indicadores led que muestran el comportamiento del nodo sensor.

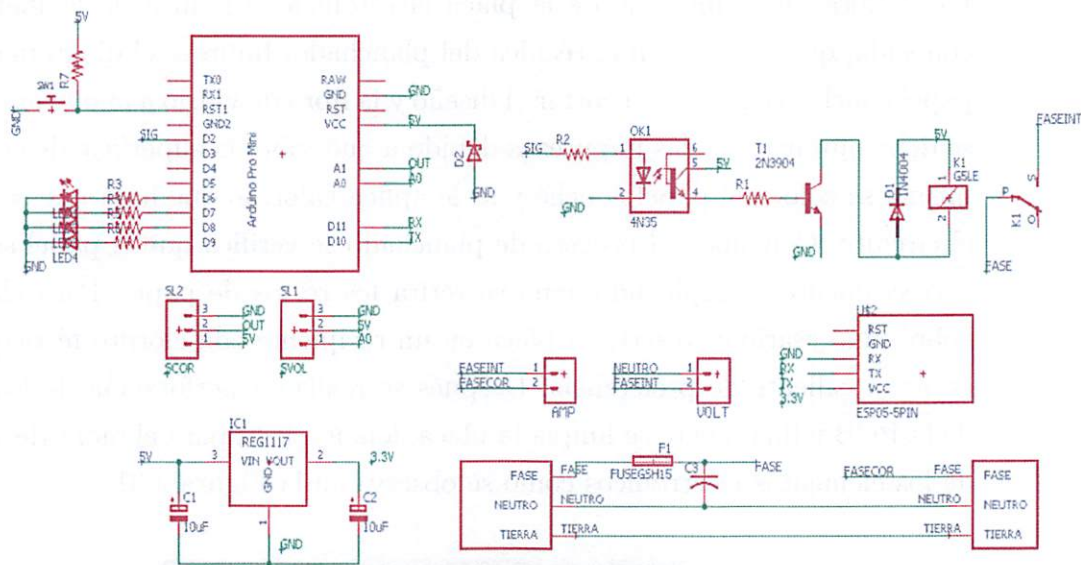


Figura 4.29: Circuito Esquemático Prototipo.
Elaborado por: Investigador

4.4.2. Diagrama PCB

El diagrama PCB que se muestra en la Figura 4.30 fue ruteado a través de Autodesk Eagle que es una herramienta que proporciona buena colocación y enrutamiento de los componentes, además de ofrecer un extenso repositorio de

librerías que permiten realizar circuitos impresos, optimización del espacio y facilidad en la elaboración de las placas de la manera más profesional posible.

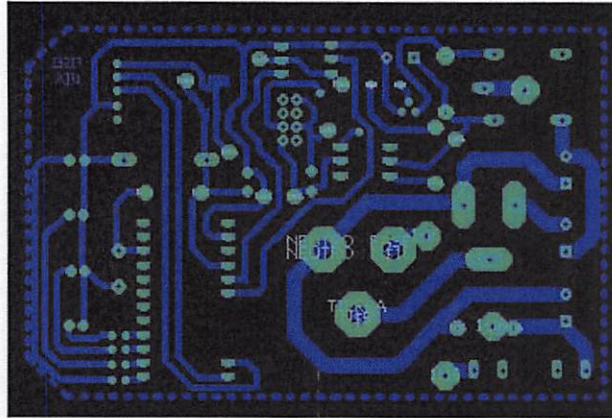


Figura 4.30: Diagrama PCB Prototipo.
Elaborado por: Investigador

4.4.3. Placa Electrónica

La elaboración y montaje de la placa electrónica se realiza de la manera más conocida, que consiste en la técnica del planchado. Impreso el diagrama PCB en papel couché, se procede a cortar el diseño y la fibra de vidrio a la que previamente se debe quitar todas las impurezas debido a que sobre la superficie de cobre de la misma se coloca el papel couché y se le aplica calor, lo que hará que se imprima el circuito. Concluido el proceso de planchado se verifica que el papel se adhiera correctamente y empleando agua se retira los restos de papel. Para eliminar el cobre innecesario se inserta la placa en un recipiente con cloruro férrico disuelto en agua caliente de preferencia. Después se realiza a perforación de los orificios de la PCB y finalmente se limpia la placa dejando lista para el montaje y soldado de los elementos electrónicos como se observa en la Figura 4.31.

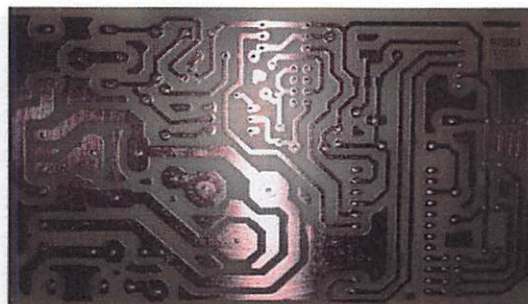


Figura 4.31: Placa Electrónica.
Elaborado por: Investigador

Finalizado el proceso de construcción de la placa electrónica, ésta fue insertada y acoplada dentro del Case 3D con la finalidad de proteger a los circuitos electrónicos como se puede ver en la Figura 4.32.

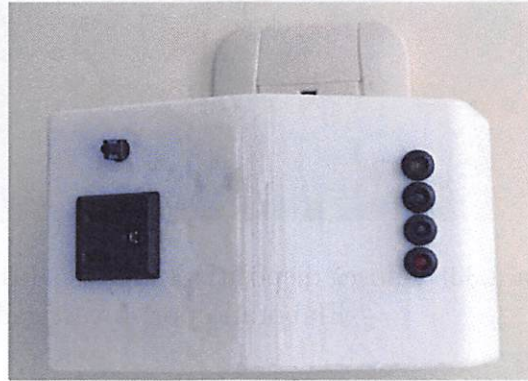


Figura 4.32: Prototipo Ensamblado.
Elaborado por: Investigador

4.5. Pruebas de Funcionamiento

El prototipo fue sometido a las pruebas de funcionamiento previa verificación de la inexistencia de errores en la conectividad y la transmisión de las magnitudes eléctricas hacia la base de datos. Posteriormente se procede a conectar diferentes cargas que permiten analizar el comportamiento de cada uno de los aparatos eléctricos. Los valores sensados por el prototipo son comparados con los valores detectados por los equipos de medición certificados como un multímetro FLUKE 111 y una pinza amperimétrica FLUKE 322.

Las pruebas se realizaron con cargas de diferente tipo y de uso frecuente en el hogar, entre ellas se tiene:

Carga Resisitiva: Plancha Doméstica

Para analizar una carga de tipo resistiva se seleccionó una plancha doméstica que fue monitoreada por 20 minutos, el tiempo de monitoreo se determinó previo a un análisis de la cantidad de tiempo empleada por una ama de casa diariamente en actividades como planchar la ropa. Los valores de las magnitudes eléctricas corriente y voltaje sensadas por el prototipo se pueden observar e las Figuras 4.32 y 4.33 respectivamente y así compararlas con los valores detectados por equipos electrónicos certificados como se observa en la Figura 4.33.



Figura 4.33: Valores dispositivos certificados (plancha doméstica).
Elaborado por: Investigador

En la Figura 4.34 se muestra la gráfica de la corriente consumida, lo picos que alcanzan hasta los 6.97 amperios hacen referencia al tiempo que el usuario estuvo utilizando la plancha mientras que los valores de 0.02 y 0.03 amperios representan el tiempo que la plancha doméstica estuvo en stand-by, es decir, el intervalo de tiempo que pasa del estado de mayor consumo al de reposo.

CORRIENTE DE PLANCHA

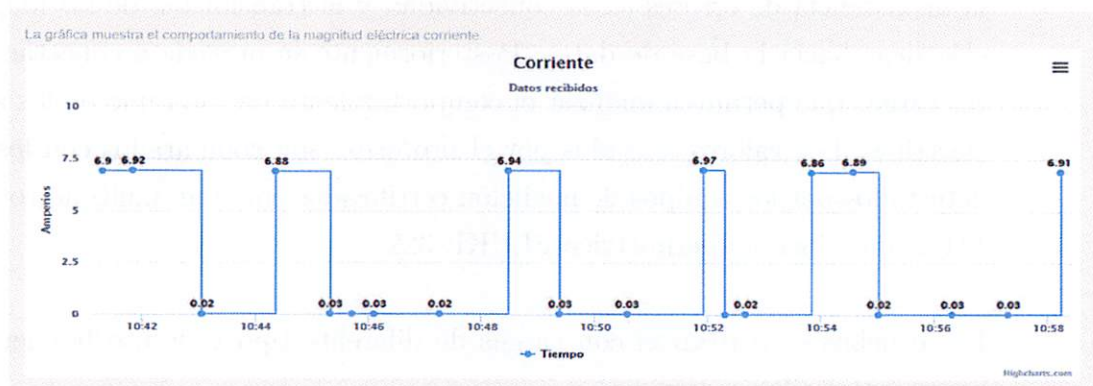


Figura 4.34: Corriente consumida por una plancha doméstica.
Elaborado por: Investigador

La gráfica de la Figura 4.35 representa el voltaje consumido mientras la plancha doméstica estaba en funcionamiento, aquí se puede observar que el voltaje se mantiene en rangos de 118 a 120 voltios pero hay instantes en que existen caídas de tensión entre 112 -113 voltios debido a problemas externos en la red eléctrica.

VOLTAJE DE PLANCHA

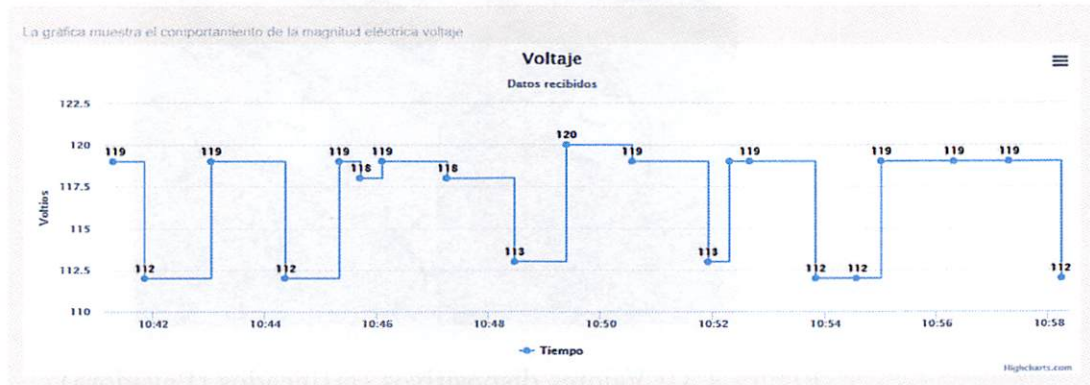


Figura 4.35: Voltaje consumido por una plancha doméstica.

Elaborado por: Investigador

Finalmente con los valores de corriente y voltaje detectados por el prototipo se obtuvo la gráfica de la Figura 4.36 que detalla la potencia máxima consumida por la carga resistiva (plancha doméstica) que corresponde a 784.92 watts, así podemos determinar el consumo energético en kilovatios/hora.

POTENCIA DE PLANCHA

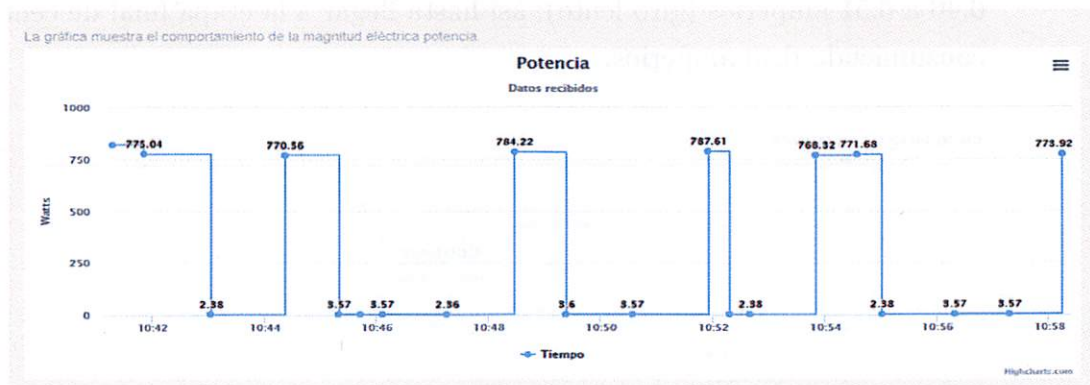


Figura 4.36: Potencia consumida por una plancha doméstica.

Elaborado por: Investigador

Carga Inductiva: Lavadora

El monitoreo de una carga tipo inductiva fue realizado con una lavadora de marca LG de 16 Kg. El tiempo empleado para adquirir los datos de las variables de voltaje y corriente fue aproximadamente 15 minutos debido a que se realizó un proceso de centrifugado. En la Figura 4.37 se observa los valores detectados por los dispositivos certificados, se observa tanto los valores en funcionamiento como en stand-by.

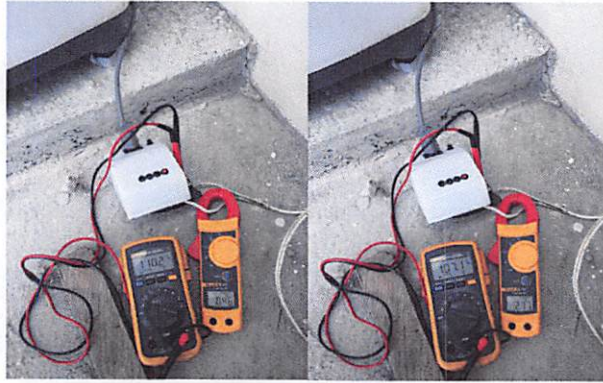


Figura 4.37: Valores dispositivos certificados (Lavadora).
Elaborado por: Investigador

La gráfica de la Figura 4.38 detalla los valores de corriente consumida muestreados, el proceso de centrifugado inicia con una corriente de 0.04 amperios que es el instante en el que la lavadora succiona el agua de la ropa, un minuto después el tambor interno empieza a girar lentamente consumiendo 4.72 amperios. El máximo consumo de corriente corresponde a 5.27 amperios que es el instante en que el tambor empieza a girar rápidamente, posterior a esto el consumo se mantiene en intervalos de 1.92 a 1.94 amperios (giro parcialmente rápido) y de 0.40 a 0.51 amperios (giro lento); así hasta llegar a la etapa final de centrifugado consumiendo 0.40 amperios.

CORRIENTE DE LAVADORA



Figura 4.38: Corriente consumida por una Lavadora.
Elaborado por: Investigador

La gráfica de la Figura 4.39 muestra los valores para la magnitud eléctrica voltaje, aquí se observa que el voltaje se mantiene constante en determinados intervalos de tiempo por al menos 2 minutos pero también existen instantes que se producen subidas de tensión que corresponde a 115 voltios.

VOLTAJE DE LAVADORA

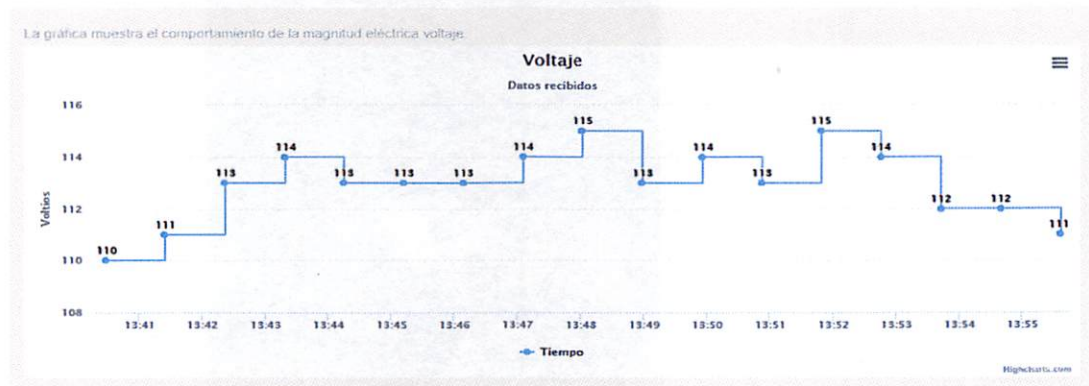


Figura 4.39: Voltaje consumido por una Lavadora.
Elaborado por: Investigador

Finalmente la gráfica de la Figura 4.40 representa la potencia consumida calculada en watts de acuerdo a los valores muestreados tanto para la corriente como el voltaje, así se obtuvo una potencia máxima de 600.78 watts.

POTENCIA DE LAVADORA

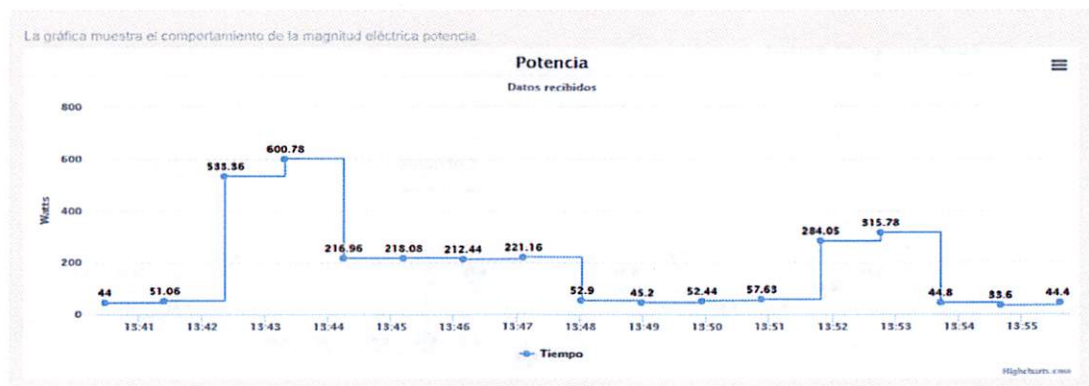


Figura 4.40: Potencia consumida por una Lavadora.
Elaborado por: Investigador

Carga Mixta: Televisor

Para determinar la corriente y el voltaje consumidos por una carga mixta se selecciona un televisor de la marca SONY como se puede observar en la Figura 4.41. Ésta carga fue monitoreada durante 20 minutos.



Figura 4.41: Valores dispositivos certificados (Televisor).
Elaborado por: Investigador

La Figura 4.42 detalla los valores almacenados en la base de datos para la corriente consumida por el televisor. En la gráfica se observa que la magnitud eléctrica varía de 0.41 a 0.43 amperios, se mantiene constante por al menos 2 minutos en 0.39 amperios y existe un instante en que decrece a 0.38 amperios que corresponden al instante en el que el usuario cambió de canal.

CORRIENTE DE TELEVISOR

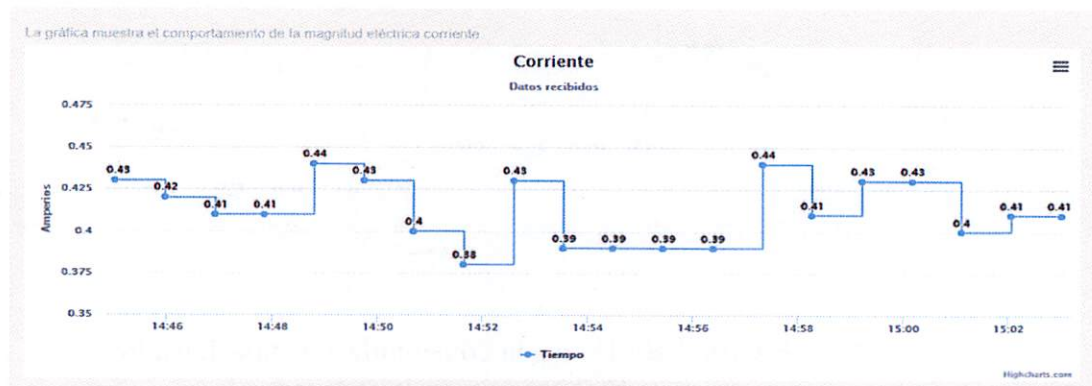
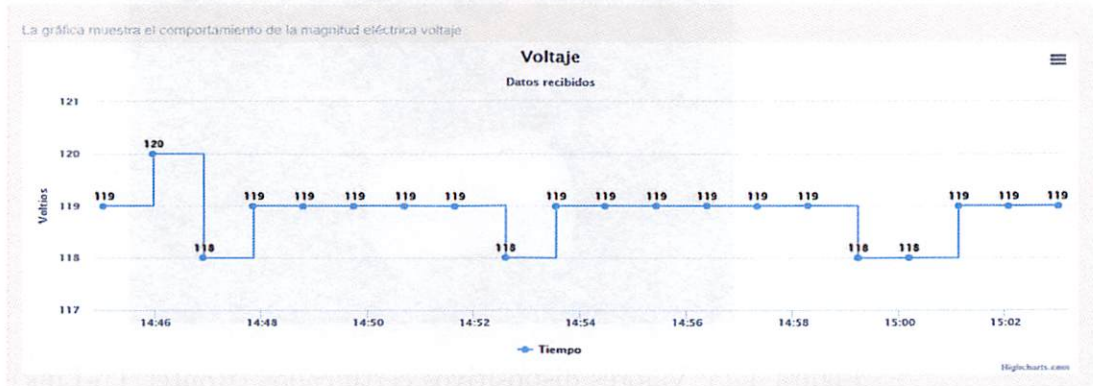


Figura 4.42: Corriente consumida por un Televisor.
Elaborado por: Investigador

En la gráfica de la Figura 4.43 se muestra el comportamiento del voltaje cuando un televisor está en funcionamiento. Existe un instante en el que se presenta una subida de tensión a 120 voltios, de igual forma durante un intervalo de tiempo (14:59 a 15:00) ocurrió una caída de tensión a 118 voltios pero en general permaneció constante con un voltaje que fue de 119 voltios.

VOLTAJE DE TELEVISOR



En igualdad de condiciones que las cargas analizadas anteriormente, la gráfica de la Figura 4.44 representa la potencia consumida por el equipo eléctrico siendo la más alta 52.36 watts y la más baja 45.22 watts.

POTENCIA DE TELEVISOR



Carga Mixta: Router Tp-Link

Carga Mixta: Router Tp-Link

Para analizar otra carga mixta de uso común en el sector residencial se seleccionó un Router de la marca Tp-Link como se observa en la Figura 4.45. El tiempo que se empleó para analizar el comportamiento de las diferentes magnitudes eléctricas en el dispositivo fue de 16 minutos.

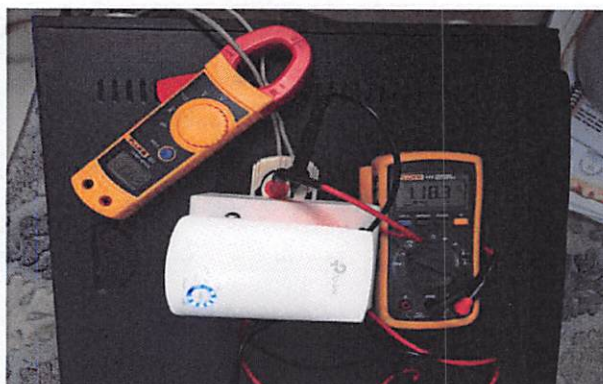


Figura 4.45: Valores dispositivos certificados (Router Tp-Link).
Elaborado por: Investigador

En la Figura 4.46 se muestra la gráfica de la corriente consumida por un router, el mayor consumo corresponde a 0.03 amperios mientras que el menor consumo fue de 0.01 amperios que se mantienen constante casi todo el tiempo en el que el prototipo estuvo monitoreando los datos.

CORRIENTE DE ROUTER

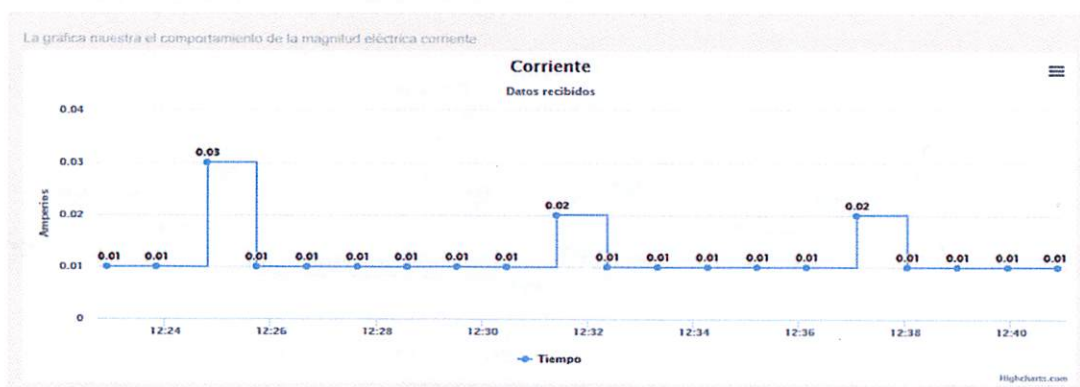


Figura 4.46: Corriente consumida por un Router Tp-Link.
Elaborado por: Investigador

En la gráfica de la Figura 4.47 se muestra el comportamiento del voltaje, se observa que del total de tiempo de monitoreo al menos 10 minutos la tensión permaneció constante en 121 voltios, sin embargo existe una subida de tensión a 122 voltios y de igual forma una caída de tensión a 118 voltios.

VOLTAJE DE ROUTER

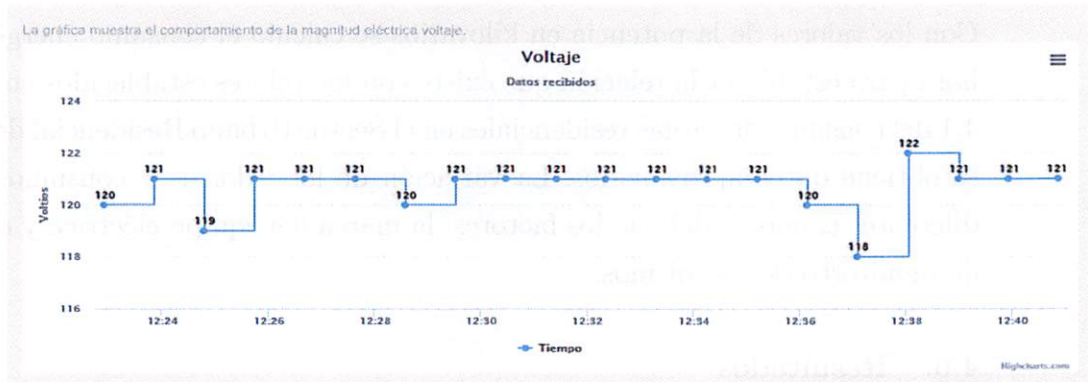


Figura 4.47: Voltaje consumido por un Router Tp-Link.
Elaborado por: Investigador

Finalmente la gráfica de la Figura 4.48 muestra la potencia consumida por el router en cada instante de tiempo, así se observa que la potencia máxima es de 3.57 watts y la mínima corresponde a 1.2 watts.

POTENCIA DE ROUTER



Figura 4.48: Potencia consumida por un Router Tp-Link.
Elaborado por: Investigador

De las pruebas realizadas para las diferentes cargas se obtiene que en gran parte los valores muestreados guardan relación con los valores detectados por los equipos electrónicos certificados. Asimismo, si determinamos el consumo energético en Kilovatios/hora en base a la potencia consumida se tiene:

- Plancha Doméstica: 784.92 [W] correspondiente a 0.78 [kW]
- Lavadora LG: 600.78 [W] correspondiente a 0.60 [kW]
- Televisor SONY: 52.36 [W] correspondiente a 0.05 [kW]

- Router Tp-Link: 3.57 [W] correspondiente a 0.003 [kW]

Con los valores de la potencia en kilovatios se calculó el consumo energético por hora para establecer la relación que existe con los valores establecidos en la Tabla 4.1 del consumo de cargas residenciales en el Sector Urbano Residencial de Cuenca se obtiene datos aproximados. La variación de los valores de consumo para las diferentes cargas se debe a dos factores: la marca del equipo eléctrico y el tiempo de monitoreo de los mismos.

4.6. Resultados

Concluidas las pruebas de funcionamiento en base a la relación de la medición de las magnitudes eléctricas entre los instrumentos de medición estándar y el prototipo, como la interacción con la plataforma de visualización; se procede a determinar la confiabilidad y el porcentaje de error con respecto a los valores patrón para garantizar la mayor eficiencia posible del sistema propuesto.

El análisis se lo realiza tomando diferentes lecturas para poder compararlas y aplicando la teoría del cálculo de errores, se logra estimar el error aproximado que existe en las mediciones; por lo tanto es necesario traer a consideración las siguientes definiciones [62]:

Error Absoluto (E_a): Está definido como la diferencia entre el valor real x_0 y el valor medido x . El error absoluto cuantifica la desviación en términos absolutos respecto al valor verdadero; generalmente el $|E_a| \ll x_0$. Es decir:

$$E_a = x_0 - x$$

Error Relativo (E_r): Está definido por el cociente entre el valor absoluto del error absoluto $|E_a|$ y el valor real x_0 , quedando de la siguiente forma:

$$E_r = \frac{|E_a|}{x_0}$$

Por ultimo para obtener el porcentaje de error se multiplica al error relativo E_r por 100. En consecuencia, el valor real representa a los instrumentos de medición, mientras que el valor medido a los generados por el prototipo [61].

Magnitud Eléctrica – Voltaje

El análisis de las lecturas que desprendió la etapa de sensado de la magnitud eléctrica voltaje alterno en comparación con el multímetro Fluke 111 (Ver Tabla

4.13), presenta que los valores obtenidos tienden a acercarse al valor real con un porcentaje de error máximo de 1,15 % debido a que los componentes electrónicos en la adquisición de la señal no son ideales, también se determinó que existe un error absoluto promedio de 0,52 [V]. Sin embargo la etapa adquisición del voltaje genera una fiabilidad del 99 % respecto a la medición.

Tabla 4.13: Análisis Valores Voltaje Alterno.

Carga Eléctrica	Valor Multímetro [V]	Valor Prototipo [V]	Error Absoluto (E_a)	Error Relativo (E_r)
Equipo de Sonido	121,4	122,0	0,60	0,00494
iPhone	120,4	121,1	0,70	0,00581
Laptop	119,9	120,2	0,30	0,00250
Lavadora de Ropa	118,9	119,1	0,20	0,00168
Licuadaora	120,8	121,2	0,40	0,00331
Máquina de coser	124,3	124,7	0,40	0,00322
Microondas	121,2	122,0	0,80	0,00660
Pistola de Silicona	120,9	120,0	0,90	0,00744
Plancha	121,2	121,4	0,20	0,00165
Plancha de cabello	120,3	120,5	0,20	0,00166
Refrigeradora	120,4	120,5	0,10	0,00083
Rizador de Cabello	118,6	119,1	0,50	0,00422
Router	121,2	121,8	0,60	0,00495
Secador de Cabello	117,2	118,0	0,80	0,00683
Televisor LCD 23"	120,0	120,4	0,40	0,00333
Tostadora	112,7	114,0	1,30	0,01154
			0,52	0,00441

Elaborado por: Investigador

Magnitud Eléctrica – Corriente

Referente a la corriente generada por las cargas eléctricas si se analizan los datos detallados en la Tabla 4.14 se estima que el error absoluto promedio es de 0,35A en comparación con la pinza amperimétrica, debido a factores externos al prototipo tales como el comportamiento de las cargas eléctricas debido a su naturaleza

eléctrica; asimismo depende de la sensibilidad del sensor de corriente y del modo en el que se encuentre la carga, ya sea en modo de funcionamiento o de reposo. La adquisición de corriente presenta un porcentaje de error cerca del 1 %, valor que varía debido a que mientras más pequeña es la corriente de uso este disminuye caso contrario aumenta, sin embargo, se tiene una confiabilidad del 98 %.

Tabla 4.14: Análisis Valores Corriente Alterna.

Carga Eléctrica	Valor Amperímetro [A]	Valor Prototipo [A]	Error Absoluto (E_a)	Error Relativo (E_r)
Equipo de Sonido	0,24	0,30	0,07	0,30435
iPhone	0,50	0,76	0,26	0,52000
Laptop	0,35	0,59	0,24	0,68571
Lavadora de Ropa	8,81	8,10	0,71	0,08059
Licuadaora	2,09	2,51	0,42	0,20096
Máquina de coser	2,88	2,59	0,29	0,10069
Microondas	14,00	13,84	0,16	0,01134
Pistola de Silicona	0,12	0,36	0,24	2,00000
Plancha	8,40	8,10	0,30	0,03571
Plancha de cabello	1,46	1,82	0,36	0,24658
Refrigeradora	2,15	2,52	0,37	0,17209
Rizador de Cabello	0,93	1,47	0,54	0,58065
Router	0,25	0,54	0,29	1,16000
Secador de Cabello	11,90	11,22	0,68	0,05714
Televisor LCD 23"	0,58	0,84	0,26	0,44828
Tostadora	6,07	5,59	0,48	0,07908
			0,35	0,41770

Elaborado por: Investigador

La relación de los valores de voltaje y corriente en alterna debe tener un alto grado de confiabilidad debido a que de estos valores depende exclusivamente el cálculo de la potencia consumida en Watts por las diferentes cargas, que se realiza en el nivel bajo de la arquitectura IoT. De tal forma que estos valores permiten determinar el comportamiento y la interacción de las cargas con el suministro

eléctrico para generar los reportes del consumo y costo de energía, de forma individual.

Una parte significativa del desarrollo del proyecto de investigación consistió en poder determinar los hábitos de consumo de las diferentes cargas eléctricas para poder tomar acciones que optimicen su rendimiento y disminuyan sus costos, por lo que para alcanzar dicho objetivo se generó reportes de consumo y costo diario, semanal, mensual en un archivo de extensión .pdf como se puede observar en la Figura 4.49.



REPORTE DE CONSUMO HASTA EL 04/10/2018

DISPOSITIVO	FECHA DE INICIO	HORA (kWh)	DIA (kWh)	SEMANA (kWh)	MES (kWh)
PLANCHA	2018-09-05	0.85101	0.42551	2.97655	12.76521
LAVADORA	2018-09-05	57.81000	28.90500	202.33500	867.15000
TELEVISION	2018-09-05	0.04879	0.02440	0.17077	0.73185
ROUTER	2018-09-05	0.00121	0.02904	0.20328	0.87120
*	*	*	*	*	*
DISPOSITIVO	FECHA DE INICIO	HORA (USD)	DIA (USD)	SEMANA (USD)	MES (USD)
PLANCHA	2018-09-05	0.03404	0.01702	0.11914	0.51061
LAVADORA	2018-09-05	2.31240	1.15620	8.09340	34.68600
TELEVISION	2018-09-05	0.00195	0.00098	0.00683	0.02927
ROUTER	2018-09-05	0.00005	0.00116	0.00813	0.03485

Figura 4.49: Generación de reportes.

Elaborado por: Investigador

El reporte que representa la Figura 4.49 permite ver el comportamiento de las cuatro cargas residenciales de uso común en el hogar:

- Carga Resistiva, Plancha Doméstica: que corresponde un monitoreo diario de 20 minutos durante un mes.
- Carga Inductiva, Lavadora: que corresponde un monitoreo diario de 15 minutos durante un mes.
- Carga Mixta, Televisor: que corresponde un monitoreo diario de 20 minutos durante un mes.

- Carga Mixta, Router: que corresponde un monitoreo diario de 16 minutos durante un mes.

El estudio de las cargas eléctricas da como resultados, poder determinar que cargas contribuyen al mayor consumo de energía, además de establecer diferentes análisis estadísticos que permitan tomar decisiones en favor de promover la eficiencia energética y por ende reducir los gastos de consumo energético. Además, se logró gestionar las cargas de manera remota de tal forma que se pueda activar o desactivar el suministro eléctrico, con la finalidad de disminuir el consumo a través de la interfaz mostrada en la Figura 4.50. Para ello dirigirse al al menú Monitoreo y Telegestión, dar clic en Magnitudes Eléctricas, clic en Telegestión.

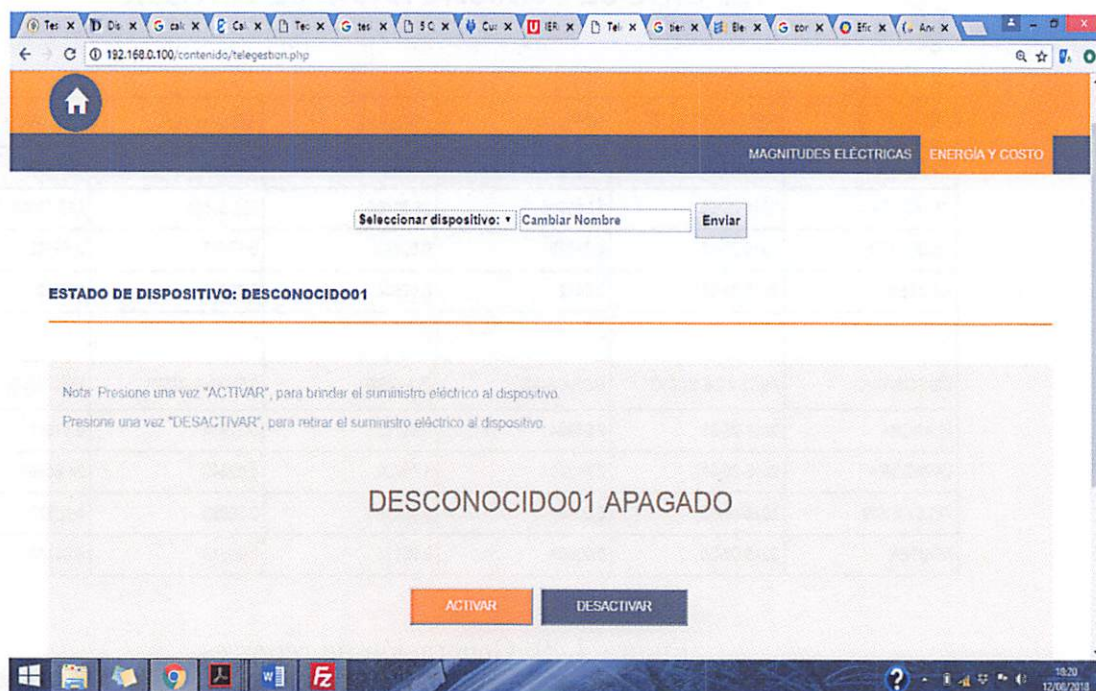


Figura 4.50: Gestionamiento de cargas eléctricas.
Elaborado por: Investigador

Finalmente, los resultados más relevantes hacen énfasis en la eficiencia energética, que se centra en tomar medidas con respecto al uso de las diferentes cargas eléctricas sin alterar el ecosistema residencial, buscando optimizar la relación entre la energía consumida y los servicios finales sin que esto afecte a su desempeño y sobre todo a su calidad debido al menor consumo de energía; además al hablar de eficiencia energética se tiene otros beneficiarios indirectos como equipos y artefactos domésticos con mayor eficiencia y vida útil, reducir la contaminación ambiental, disminuir el consumo kWh/cliente pero sobre todo reducir costos de las planillas de consumo que es el aspecto más relevante de la investigación.

4.7. Presupuesto

Para determinar el costo total de la propuesta de investigación se deben considerar dos aspectos: el presupuesto de diseño y el presupuesto de ensamblaje del prototipo. Para el presupuesto de diseño se investigó el salario básico de un Ingeniero determinado por el Ministerio de Relaciones Laborales correspondiente a 817 dólares mensuales (Servidor Público 1) [63]. Considerando un promedio de 21 días laborables durante cada mes y aplicando la ecuación 4.6 se obtiene el salario diario.

$$\text{Salario}_{\text{diario}} = \frac{\text{Salario}_{\text{mensual}}}{\text{Días}_{\text{laborables}}} \quad (4.6)$$

$$\text{Salario}_{\text{diario}} = \frac{817}{21}$$

$$\text{Salario}_{\text{diario}} = 38.90 \text{ [dólares]}$$

Aplicando la ecuación (4.7) se obtiene el salario por cada hora:

$$\text{Salario}_{\text{hora}} = \frac{\text{Salario}_{\text{diario}}}{\text{Horas}_{\text{trabajo}}} \quad (4.7)$$

$$\text{Salario}_{\text{hora}} = \frac{38.90}{8}$$

$$\text{Salario}_{\text{hora}} = 4.86 \text{ [USD]}$$

Si se emplearon un aproximado de 150 horas, mediante la ecuación 4.8 se determina:

$$\text{Diseño} = \text{Horas}_{\text{investigación}} * \text{Salario}_{\text{hora}} \quad (4.8)$$

$$\text{Diseño} = 150 * 4.86 \text{ [USD]}$$

$$\text{Diseño} = 729 \text{ [USD]}$$

A continuación, en la Tabla 4.13 se describe el costo de los elementos y dispositivos empleados para construir el prototipo.

Tabla 4.15: Presupuesto de Construcción del Prototipo.

N°	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Sensor de Corriente	c/u	3	\$4.00	\$12.00
2	Sensor de Voltaje	c/u	3	\$8.00	\$24.00
3	Módulo Wi-Fi	c/u	3	\$6.00	\$12.00
4	Arduino Pro mini	c/u	3	\$5.00	\$15.00
5	Raspberry Pi 3 B+	c/u	1	\$40.00	\$40.00
6	Pantalla TFT 3,5"	c/u	1	\$35.00	\$35.00
7	Fuente de Alimentación	c/u	1	\$15.00	\$15.00
8	Conector hembra NEMA	c/u	3	\$1.00	\$3.00
9	Conector macho NEMA	c/u	3	\$1.00	\$3.00
10	Fibra de Vidrio	c/u	1	\$12.00	\$12.00
11	Elementos Electrónicos	c/u	-	\$60.00	\$60.00
12	Case 3D	c/u	3	\$35.00	\$105.00
SUBTOTAL					\$300.00
IVA (12%)					\$36.00
TOTAL					\$336.00
IMPREVISTOS (3%)					\$ 10.08
TOTAL					\$ 346.08

Elaborado por: Investigador

Finalmente, aplicando la ecuación (4.9) se obtiene el presupuesto total de diseño e implementación:

$$Total = Diseño + Construcción \text{ (4.9)}$$

$$Total = 729 + 346.08 \text{ [USD]}$$

$$Total = 1075.08 \text{ [USD]}$$

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Una vez finalizado el proceso de análisis y desarrollo del proyecto de investigación se procede a establecer las siguientes conclusiones:

- La implementación de un sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico permitió adquirir las magnitudes eléctricas que interactúan con las cargas eléctricas en el sector residencial, las señales fueron adquiridas a través de un microcontrolador de nivel bajo en la arquitectura IoT, donde las mediciones de forma inteligente nos permiten tener una previsión eficiente de la demanda de energía eléctrica, además de un análisis en tiempo real de las lecturas asociadas a una gestión bidireccional con el objetivo de mejorar el control del consumo energético.
- Los sistemas de medición de energía eléctrica tradicionales se enfocan en el consumo energético global, no hacen ninguna referencia a las cargas eléctricas por lo que los sistemas electrónicos de medición inteligente ofrecen varias ventajas, e incorporan nuevos parámetros, además de que la información puede ser recopilada y almacenada en diferentes intervalos de tiempo, asimismo nos brinda mayor precisión siendo intrínsecamente los valores más confiables.
- El prototipo desarrollado es un sistema que se basa en la arquitectura y los protocolos de comunicación IoT empleando hardware embebido y software libre adaptable a los diferentes elementos electrónicos que hacen parte de cada etapa que permite el monitoreo de las variables eléctricas y la telegestión de las cargas eléctricas mediante el uso de una interfaz de fácil manipulación, permitiendo que la información esté disponible en cualquier instante a través de la conexión de un dispositivo terminal a la red.
- El prototipo de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico está asociado a una plataforma software que recibe los datos a través de la tecnología inalámbrica Wi-Fi, que se adaptó bastante bien a la interacción

con magnitudes eléctricas, donde el recolector termina el análisis de la información cerrando gran parte de la arquitectura IoT, teniendo alteraciones y retardos bastante mínimos brindando una buena velocidad, fiabilidad y confiabilidad en la transmisión de la información.

- El análisis de las cargas eléctricas residenciales en relación al consumo energético desprende que un considerable porcentaje de energía es desperdiciada debido a los malos hábitos de consumo, por lo que los reportes y el gestionamiento adecuado nos ayudaran a tomar políticas de eficiencia energética con la finalidad de reducir los costos económicos.

5.2. Recomendaciones

En base a las experiencias obtenidas través del presente proyecto de investigación se recomienda lo siguiente; notas que incluso se pueden tener a consideración en trabajos posteriores:

- Elegir correctamente la electrónica necesaria para la captura de los datos tanto de voltaje como de corriente en alterna debido a que en gran medida a esto depende la fiabilidad de los sistemas de este tipo.
- Tener cuidado al momento de establecer la tecnología IoT de transmisión de la información desde los nodos cuando implique trabajar con corriente alterna debido a que esta puede interferir y hará necesario el uso de otras etapas de adquisición en el sensado.
- Hacer uso de todos los recursos web disponibles tales como librerías open source con el propósito de aligerar la carga en el servidor y tener mayor fluidez al momento interactuar todo el sistema.
- Utilizar otros protocolos de comunicación en arquitecturas IoT como MQTT que es un protocolo pequeño de tan solo 2 bytes por mensaje que tiene la capacidad de soportar conexiones inalámbricas intermitentes.
- Tener cuidado al momento de establecer la conexión entre el nodo y el concentrador para que se pueda identificar correctamente a que carga eléctrica pertenece y no haya pérdida de información.

Bibliografía

- [1] Agency, «Energy Efficiency Indicators Highlights,» International Energy Agency , Paris, 2017. [En línea]. Available: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyHighlights_2017.PDF
- [2] Energy Efficiency Indicators Analysts, «Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas,» International Energy Agency, París, 2015. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyVespagnoLepdf.pdf>
- [3] M. Zaballa Romero, H. Jiménez Rivera y F. Vera, «Recomendaciones de Política para el Sector Energético de América Latina y El Caribe en apoyo a la Implementación de las NDCs,» OLADE, Quito Ecuador, 2017. [En línea]. Available:<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0377.pdf>
- [4] F. García, Y. Marco y A. Arenas, «Manual Estadística Energética,» OLADE, Quito Ecuador, 2017.
- [5] Ministerio de. Electricidad y Energía Renovable, «Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035,» Quito Ecuador, 2017. M. C. d. S. Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2016 Año Base 2015,» Quito Ecuador, 2016
- [6] Ministerio de Control de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2016 Año Base 2015,» Quito Ecuador, 2016. [En línea]. Available:<https://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/Balance-Energetico-Nacional-2016-ilovepdf-compressed.pdf>
- [7] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «Eficiencia Energética Sector.Residencial,» [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>. [Último acceso: 07 07 2017].

- [8] ARCONEL, «Balance Nacional de Energía,» [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/> [Último acceso: 25 07 2018].
- [9] Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, «Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estad%C3%ADstica-anual-y-multianual-sector-el%C3%A9ctrico-2016.pdf> [Último acceso: 25 07 2018].
- [10] Agencia Internacional de Energía, «Energy Technology Perspectives 2017 Catalysing Energy Technology Transformations,» 2017.
- [11] Mulham B. Soudan, Homam M. Al Rifaie, Taha M. Asmar y Sohaib Majzoub, «Smart home energy management system: An exploration of IoT use cases,» *IEEE Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8376826>
- [12] Danielly B. Avancini, Simion G.B. Martins, Ricardo A.L. Rabelo, Petar Solic y Joel J.P. C. Rodrigues, «A Flexible IoT Energy Monitoring Solution,» *IEEE 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8448326>
- [13] Siritwat Wasoontarajaroen, Khwanchai Pawasan y Vithaya Chamnanphrai, «Development of an IoT device for monitoring electrical energy consumption,» *IEEE 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 2017. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8250475>
- [14] Laila Salman, Safa Salman, Saeed Jahangirian, Mehdi Abraham, Fred German, Charlotte Blair y Peter Krenz, «Energy efficient IoT-based smart home,» *IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2016. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7845449>
- [15] S. Andrés, «Sistema electrónico de monitoreo y control para la distribución de energía eléctrica en los hogares,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.

- [16] F. Cárcel y G. José, «Supervisión Energética para Monitorización y Control de Consumo Eléctrico. Caso Práctico,» 3C Ciencia, vol. 4, nº 1, pp. 19-31, 2015.
- [17] «twenergy,» 18 02 2013. [En línea]. Available: <https://twenergy.com/a/la-telegestion-energetica-su-funcionamiento-y-ventajas-750>. [Último acceso: 27 06 2017].
- [18] E. EDUCA, «Endesa Educa,» [En línea]. Available: https://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/telegestion. [Último acceso: 28 06 2017].
- [19] A. U. T. Council, «Then and Now a Smart Metering Story,» ESI AFRICA ISSUE , vol. 1, pp. 74-78, 2016.
- [20] S. Rastogi, M. Sharma y P. Varshney, «Internet of Things based Smart Electricity Meters,» International Journal of Computer Applications, vol. 133, nº 8, pp. 13-16, 2016..
- [21] Energy Management, «Cargas en una instalación eléctrica,»2013. [En línea]. Available: <https://constructorelectrico.com/cargas-en-una-instalacion-electrica/>[Último acceso: 25 07 2018].
- [22] S. Guzmán, «Estudio y Diseño de un Sistema Domiciliario para el control de energía eléctrica utilizando redes eléctricas inteligentes,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2013.
- [23] ARCONEL, «Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución,»2018. [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectricita.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf> [Último acceso: 26 07 2018].
- [24] ARCONEL, «Decreto N° 451-A,»2017. [En línea]. Available: fao-lex.fao.org/docs/texts/ecu79803.doc [Último acceso: 26 07 2018].
- [25] F. T. Forum, «El Internet de las Cosas,» Fundación de la Innovación Bankinter, Madrid, 2011.
- [26] B. Adam, «SUNQU,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.zemsania.com/recursos-zemsania/whitepapers/DTS/arquitecturaIoT>. [Último acceso: 23 11 2017].

- [27] G. Anna, «IBM, 04 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-lp201-iot-architectures/iot-lp201-iot-architectures-pdf.pdf>. [Último acceso: 23 11 2017].
- [28] F. Paul, «Chakray,» [En línea]. Available: <http://www.chakray.com/wp-content/uploads/2016/11/arquitectura-iot.pdf>. [Último acceso: 23 11 2017].
- [29] I. E. Commission, «Internet of Things: Wireless Sensor Networks,» International Electrotechnical Commission, Geneva Suiza, 2014.
- [30] ADMINASO, «Administración de Sistemas Operativos - LAMP,» [En línea]. Available: <http://www.adminso.es/index.php/LAMP>. [Último acceso: 10 06 2018].
- [31] U. Edgar, «Eficiencia del consumo eléctrico en el sector residencial urbano de Cuenca,» Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca, 2015.[En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22992>
- [32] Ecuatran, «Electrodomésticos que cosumen más energía en el hogar,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.ecuatran.com/blog/electrodomesticos-que-consumen-mas-energia-en-tu-hogar/>. [Último acceso: 25 07 2018].
- [33] E. Guevara, «Estudio de la Influencia de la Regulación en vacío de transformadores de distribución sobre la norma de calidad de energía del CONELEC referida a niveles de voltaje ,» 2011. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3774/1/CD-3518.pdf>. [Último acceso: 25 07 2018].
- [34] CONELEC, 2001 «Regulación CONELEC 004/01,»En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf> [Último acceso: 26 07 2018].
- [35] A. MicroSystems, «Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor,» Allegro MicroSystems, Massachusetts, 2017.
- [36] BricoGeek, «Brico Geek,» Pololu, [En línea]. Available: <http://tienda.bricogeek.com/sensores/367-sensor-de-corriente-ac714-30a.html>. [Último acceso: 15 02 2018].

- [37] A. MicroSystems, «Pololu,» [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/file/0J196/ACS714.pdf>. [Último acceso: 15 02 2018].
- [38] HETPRO, «HETPRO,» [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/sensor-de-corriente-sct-013-000-100a/>. [Último acceso: 15 02 2018].
- [39] D-SUN, «AliExpress,» [En línea]. Available: <https://www.aliexpress.com/item/LED-digital-two-wire-AC-voltage-meter-head-two-wire-digital-voltmeter-AC220V-electricity-70V-500V/32805801436.html>. [Último acceso: 30 03 2018].
- [40] Zeming, «Naylamp Mechatronics SAC,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/393-transformador-de-voltaje-ac-zmpt101b.html>. [Último acceso: 30 03 2018].
- [41] INC, «PHIDGETS,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.phidgets.com/?tier=3&catid=16&pcid=14&prodid=381>. [Último acceso: 30 03 2018].
- [42] Particle, «Pothon,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.particle.io/products/hardware/photon-wifi-dev-kit>. [Último acceso: 15 01 2018].
- [43] Arduino, «Arduino Pro Mini,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-pro-mini>. [Último acceso: 15 01 2018].
- [44] TESSEL, «Tessel,» [En línea]. Available: <https://tessel.io/>. [Último acceso: 16 01 2018]
- [45] TESSEL, «SparkFun Electronics,» [En línea]. Available: https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-the-tessel-2_ga=2.17131513.170491799.1517528393-1854544341.1517528393. [Último acceso: 16 01 2018].
- [46] R. P. Foundation, «Raspberrypi.org,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. [Último acceso: 15 04 2018]
- [47] A. Gerber, «Choosing the best hardware for your next IoT project,» IBM Corporation, New York, 2017.

- [48] BeagleBoard, «beagleboard.org,» 03 10 2017. [En línea]. Available: <http://beagleboard.org/black>. [Último acceso: 15 01 2018].
- [49] T. Instruments, «Texas Instruments Incorporated,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/tool/BEAGLEBK>. [Último acceso: 15 01 2018].
- [50] A. Electronics, «Qualcomm Developer Network,» [En línea]. Available: <https://developer.qualcomm.com/hardware/dragonboard-410c>. [Último acceso: 15 01 2018].
- [51] Y. Akhayad, «Bluetooth 4.0 Low Energy: Análisis de las prestaciones y aplicaciones para la automoción,» Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2016.
- [52] B. E. I. Gropu, «Bluetooth SIG, Inc.,» [En línea]. Available: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/solutions>. [Último acceso: 06 04 2018].
- [53] A. Gerber, «A guide to selecting network technologies to solve your IoT networking challenges,» IBM Corporation, New York, 2018.
- [54] N. Romero, «Análisis y evaluación del parámetro de calidad de servicio (QoS) en red Zigbee con un nodo coordinador,» Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2017.
- [55] Z. Alliance, «Zigbee Alliance,» Zigbee Alliance, 2017. [En línea]. Available: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0/>.
- [56] «GSMA,» 10 2016. [En línea]. Available: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>. [Último acceso: 06 04 2018].
- [57] B. Ray, «LinkLabs,» 29 11 2017. [En línea]. Available: <https://www.link-labs.com/blog/lte-iot-technologies>. [Último acceso: 06 04 2018].
- [58] R. & SCHWARZ, «ROHDE & SCHWARZ,» 2018. [En línea]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/es/tecnologias/conectividad-inalambrica/wlan-wifi/tecnologia-wlan-wifi/tecnologia-wlan-wifi_55719.html. [Último acceso: 26 07 2018].
- [59] M. Marta, «Análisis, diseño y despliegue de una red WiFi en Santillana del Mar,» Madrid, 2015.

- [60] UNAM «El método de mínimos cuadrados,» 2016. [En línea]. Available: http://sistemas.fciencias.unam.mx/~erhc/calculo3_20171/derivadas_parciales_direccionales_2016_12.pdf [Último acceso: 31 07 2018].
- [61] GitHub, «Atom,» [En línea]. Available: <https://atom.io/>. [Último acceso: 26 07 2018].
- [62] D. Jiménez, «Teoría Errores in Sistema de ubicación y monitoreo de señales vitales en adultos mayores y personas con alzheimer,» [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27796>
- [63] Ministerio de Relaciones Laborales, «Resolución No. MRL-2012,» [En línea]. Available: <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/08/A-0021-2012-Escala-20-grados.pdf> [Último acceso: 06 08 2018].

Anexos y Apéndices

Anexo A

Adquisición de las variables eléctricas nivel bajo IoT

```
#include "SoftwareSerial.h"
/* * Para sensor */
#define pinVoltaje A3
#define pinCorriente A2
float vred;
String ssid ="TP-LINK_F322"; String password="51038502";
SoftwareSerial esp(10, 11);// RX, TX
String data; String server = "192.168.0.100"; // es donde debo cambiar apun-
tar al servidor
String uri1 = "/variables/postear.php";
String uri2 = "/variables/peticionMac.php";
String uri3 = "/variables/estado.php";
String dispositivo, V ,I, P;
int Nmedidas = 5, contador = 0;
/* * Para sensor ACS */
float Sensibilidad=0.104; //sensibilidad en V/A para nuestro sensor
float offset=0.100; // Equivale a la amplitud del ruido
/* * Variable para conocer el estado del dispositi-
vos ON = 2 , STDBY =1 , OFF = 0 */
int estado = 0;
String macdisp = "FC:00:00:00:00:01";
/* * Variable para control de rele */
int rele = 2;
String RespEstado;
int auxCnt = 0;
void setup()
{
  esp.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  setMac(macdisp);
  delay(1500);
  data = "mac=" + macadd() + "&nombre=ejemplo" ;
  dispositivo = httpPost(uri2);
  while(dispositivo == "")
  {
    Serial.println("Controlador no se puede conectar a la base");
    dispositivo = httpPost(uri2);
    delay(2500); }
  // pinMode(rele,OUTPUT);
  // digitalWrite(rele, HIGH);
}
void loop()
{
  float valV = voltaje();
  float Ip=get_corriente();//obtenemos la corriente pico
  float Irms=Ip*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)
  float valP = valV * Irms;
```

```

V = (String)valV;
I = (String)Irms;
P = (String)valP;
Serial.print("Voltaje: ");
Serial.print(V);
Serial.print(" Corriente: ");
Serial.print(I);
Serial.print(" Potencia: ");
Serial.println(P);
data = "var1=" + V + "&var2=" + I + "&nombre=" + dispositivo + "&estado=" + estado;
http.post(uri1);
auxCnt++;
delay(7000);
// data = "nombre=" + dispositivo;
}
float voltaje()
{
unsigned long vsum = 0;
for(int i=0; i<4000; i++)
{
vsum = vsum + analogRead(pinVoltaje);
}
vred = sumvol(vsum / 4000.0);
return round(vred);
}
float sumvol(float adc)
{
float vol = adc * 0.0048828125;
vol = vol * 1000;
vol = ((vol - 1.375494071)/3.993675889);
if(vol > 5)
return vol + 5.0;
else if(vol <= 0)
return 0;
else
return vol;
}
float get_corriente()
{
float voltajeSensor;
float corriente=0;
long tiempo=millis();
float Imax=0;
float Imin=0;
while(millis()-tiempo<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
{
voltajeSensor = analogRead(pinCorriente) * (5.0 / 1023.0);//lectura del sensor
corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
if(corriente>Imax)Imax=corriente;
if(corriente<Imin)Imin=corriente;
}
float Itx = ((Imax-Imin)/2)-offset; //corriente para transmitir
if(Itx >= 0.15) //corriente mayor que 1amp entoces el dispositivo esta en ON
{
estado = 2;
}
else if(Itx > 0.07 && Itx < 0.15) //corriente mayor que 1amp entoces el dispositi-

```

```
vo esta en STNDBY
{
estado = 1;
}
else //asumiendo corriente ideal igual a cero esta en OFF
{
estado = 0;
}
return(Itx);
}
float get_voltage(int n_muestras)
{
float voltage=0;
for(int i=0;i<n_muestras;i++)
{
voltage =voltage+analogRead(pinCorriente) * (5.0 / 1023.0);
}
voltage=voltage/n_muestras;
return(voltage);
}
```


Anexo B

Algoritmo de Programación y Conexión Wi-Fi

```
//reset the esp module
void reset()
{
  esp.println("AT+RST");
  delay(1000);
  if(esp.find("OK")) Serial.println("Modulo reiniciado");
}

//connect to your wifi network
void connectWifi()
{
  String cmd = "AT+CWJAP=\"" +ssid+"\",\"" + password + "\"";   esp.println(cmd);
  delay(4000);
  if(esp.find("OK"))
  {
    Serial.println("Conectado!");
  }
  else
  {
    connectWifi();
    Serial.println("No se puede conectar a wifi");
  } }

String httpPost (String uri)
{
  String tmpResp;
  esp.println("AT+CIPSTART=\"TCP\",\"" + server + "\",80");//start a TCP connection.
  if( esp.find("OK"))
  {
    Serial.println("TCP connection ready");
  }
  delay(1000);
  String postRequest = "GET " + uri + "?" + data + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + server + "\r\n" +
    "\r\n";
  String sendCmd = "AT+CIPSEND=";//determine the number of characters to be sent.
  Serial.print("peticion: ");
  Serial.println(postRequest);
  esp.print(sendCmd);
  esp.println(postRequest.length());
  delay(750);
  if(esp.find(">"))
  {
    Serial.println("Enviando..");
    esp.print(postRequest);
    if(esp.find("SEND OK"))
    {
      Serial.println("Petición enviada");
    }
  }
}
```

```

while (esp.available())
{
tmpResp += esp.readString();
}
esp.println("AT+CIPCLOSE");
} }
// else //
{ //
Serial.println("-----no permite enviar peticion-----"); //
}
tmpResp.trim();
tmpResp.replace("\r", " ");
tmpResp.replace("\n", " ");
tmpResp.trim(); tmpResp = tm-
pResp.substring(tmpResp.indexOf("Respuesta:")+11, tmpResp.indexOf("CLOSED"));
tmpResp.trim();
return(tmpResp);
}

void setMac(String dir-
Mac) //AT+CIPAPMAC="2c:aa:35:97:d4:7b" { esp.print("AT+CIPAPMAC=\");
esp.print(dirMac);
esp.println("\");
delay(1000);
if(esp.find("OK")) Serial.println("MAC Cambiada");
}

String macadd()
{
String tmpResp;
esp.println("AT+CIPAPMAC?");
delay(1000);
while (esp.available())
{
tmpResp = esp.readString();
}
tmpResp.trim();
tmpResp = tmpResp.substring(tmpResp.indexOf("+CIPAPMAC:\")+11, tmpResp.length()-
2);
return tmpResp;
}

```

Anexo C

Código PHP para postear lo valores en la Base de Datos

```
<?php
include 'funciones.php';
date_default_timezone_set("America/Guayaquil");
$horaLocal = date("Y-m-d");
$horaPet59= $horaLocal." 23:59:59";
$horaPet00= $horaLocal." 00:00:00";
$con=mysqli_connect("localhost","admin","raspberry","varelec");
if (!$con)
{ echo "No se puede conectar:" . mysqli_error(); }
$v1 = $_GET["var1"];
$v2 = $_GET["var2"];
$v3 = $_GET["nombre"];
$v4 = $_GET["estado"];
$query = "INSERT INTO magnitudes (disp, vol, cor, pot, estado) VA-
LUES ('".$v3."',".$v1."',".$v2."',".$v1 * $v2."',".$v4.)";
$peticionTiempo = "SELECT tiempo FROM magnitudes WHERE disp = '$v3' OR-
DER BY id DESC limit 2";
$peticionActividad = "SELECT tiempoon FROM electrodomesticos WHERE nombre = '$v3'";
$peticionIntervaloDia = "SELECT * FROM magnitudes WHERE tiempo BETWEEN '".$hora-
Pet00.'" and '".$horaPet59.'" AND disp = '".$v3.'""; //peticion de tiempos en in-
tervalo diario
$ultimoRegistro = mysqli_query($con, $peticionTiempo);
$petTiempoActivo = mysqli_query($con, $peticionActividad);
$vecAcumulador = mysqli_fetch_array($petTiempoActivo);
$respIntSemanal = mysqli_query($con, $peticionIntervaloDia);
$rawdata = array(); $i=0;
while($row = mysqli_fetch_array($respIntSemanal))
{ $rawdata[$i] = $row;
  $i++; }
$i; $tiempo; $state;
for($i = 0 ;$i<count($rawdata);$i++)
{
  $state[$i] = $rawdata[$i][6];
  $tiempo = $rawdata[$i][5];
  $date = new DateTime($tiempo);
  $arrayTiempo[$i] = date_timestamp_get($date)*1000 - 18000000;
}
if(mysqli_query($con,$query))
echo "<br> ingresando nuevo dato";
$peticionActualizarTiempo = "UPDATE electrodomesticos SET tiem-
poon=".$val0n.", tiempoStb = ".$valSt.", tiempooff=".$valOf." WHERE nom-
bre = '".$v3.'"";
if(mysqli_query($con, $peticionActualizarTiempo))
echo "<br>tiempo actualizado";
mysqli_close($link);
echo "RESPUESTA: 101";
?>
```

Anexo D

Reconocimiento y seteo de la MAC

```
<?php
$con=mysqli_connect("localhost","admin","raspberry","varelec");
if (!$con)
{
echo "No se puede conectar:" . mysqli_error();
}
$v1 = $_GET["mac"];
$v2 = $_GET["nombre"];
if( strlen($v1) > 17 )
{
$v1 = substr($v1,0,-1); }
$query = "SELECT COUNT(*) FROM electrodomesticos WHERE mac = '$v1.'";
//echo "<br> variables: ".$v1." ".$v2." <br>peticion: ".$query;
$respuesta = mysqli_query($con,$query);
$fila = mysqli_fetch_array($respuesta);
trim($v1);
if($fila[0] != 0)
{
$query = "SELECT * FROM electrodomesticos WHERE mac = '$v1.'"; $respu-
ta = mysqli_query($con,$query);
$fila = mysqli_fetch_array($respuesta);
echo "Respuesta: ".$fila[nombre];
}
else if($v1 != "")
{
$tagNombre = "Desconocido".substr($v1, -2);
$query = "INSERT INTO electrodomesticos (mac, nombre) VALUES ('$v1.', '$tag-
Nombre.')";
if(mysqli_query($con,$query))
{
echo "Respuesta: ".$tagNombre;
} }
?>
```

Anexo E

Interfaz de Visualización

```
MAGNITUDES ELÉCTRICAS
!DOCTYPE html>
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<meta charset="utf-8" />
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, maximum-
scale=1" />
<meta name="description" content="" />
<meta name="author" content="" />
<title>Magnitudes Eléctricas</title>
<link href="assets/css/bootstrap.css" rel="stylesheet" />
<link href="assets/css/font-awesome.css" rel="stylesheet" />
<link href="assets/css/style.css" rel="stylesheet" />
<script src="http://code.jquery.com/jquery-latest.js"></script>
<script src="/contenido/fuenteGrafica/code/highcharts.js"></script>
<script src="/contenido/fuenteGrafica/code/modules/exporting.js"></script>
<script src="/contenido/fuenteGrafica/code/modules/export-data.js"></script>
</head>
<body>
<?php date_default_timezone_set("America/Guayaquil");
$dispositivo = $_POST['seleccion'];
$nuevoNombre = $_POST['fname'];
$con=mysqli_connect("localhost","admin","raspberry","varelec");
if (!$con) {
echo "No se puede conectar:" . mysqli_error(); }
$query = "SELECT * FROM magnitudes WHERE disp = '". $dispositivo.'" OR-
DER BY id DESC limit 20";
$queryName = "UPDATE magnitudes SET disp='". $nuevoNombre.'" WHERE disp = '". $dispo-
sitivo.'"";
$queryName2= "UPDATE electrodomesticos SET nombre='". $nuevoNombre.'" WHERE nom-
bre = '". $dispositivo.'"";
$peticionTiempo = "SELECT tiempo FROM magnitudes WHERE disp = '". $dispositi-
vo.'" ORDER BY id DESC limit 2";
if($nuevoNombre != "")
{
$result=mysqli_query($con, $queryName); $result2=mysqli_query($con, $queryName-
me2);
}
$result=mysqli_query($con, $query);
$result2=mysqli_query($con, $query2);
$ultimoRegistro = mysqli_query($con, $peticionTiempo);
$rowdata = array();
$i=0;
while($row = mysqli_fetch_array($ultimoRegistro))
{
$rowdata[$i] = $row;
$i++; }
```



```

<a class="dropdown-toggle" data-toggle="dropdown" href="#" aria-
expanded="false">
<span class="glyphicon glyphicon-home" style="font-
size: 25px;"></span> </a>
<div class="dropdown-menu dropdown-
settings"> <div class="media">
<a class="media-centert" href="#">
</a>
<div class="media-body">
<a href="index.html">Home</a>
</div>
</div> </li>
</ul> </div> </div> </div> </div>
<!-- LOGO HEADER END-->
<section class="menu-section">
<div class="container">
<div class="row">
<div class="col-md-12">
<div class="navbar-collapse collapse ">
<ul id="menu-top" class="nav navbar-nav navbar-right">
<li><a href="energia.php">Energía y Costo</a></li>
<li><a class="menu-top-active" href="telegestion.php">Telegestión</a></li>
</ul> </div> </div>
</div> </div>
</section>
<br>
<center>
<form name="seleccionador" method="post">
<select name="seleccion">
<option value="0">Seleccionar dispositivo:</option>
<?php
$query = "SELECT DISTINCT nombre FROM electrodomesticos";
$result= mysqli_query($con, $query);
while ($valores = mysqli_fetch_array($result))
{
echo '<option va-
lue="' . $valores[nombre] . '>' . $valores[nombre] . '</option>';
}?>
</select>
<input type="text" name="fname" width="20" style="height: 24px" placehol-
der="Cambiar Nombre">
<input type='submit' name='submit' />
</form>
</center>
<div class="content-wrapper" id="fisei">
<div class="container">
<div class="row">
<div class="col-md-12">
<h4 class="page-head-line">
<?php
if($dispositivo == "")
echo "SELECCIONAR DISPOSITIVO";
else
echo "VOLTAJE DE ".strtoupper($dispositivo);
?>
</h4>
</div> </div>

```



```

<div class="row">
<div class="col-md-12">
<div class="alert alert-warning">
<p align="justify">La gráfica muestra el comportamiento de la magnitud eléctrica voltaje.</p>
<div id="container1" style="min-width: 310px; height: 400px; margin: 0 auto"></div>
<script type="text/javascript">
Highcharts.chart('container1',
{
chart: {
type: 'line' },
title: {
text: 'Voltaje'},
subtitle: {
text: 'Datos recibidos' },
xAxis: {
type: 'datetime' },
yAxis: {
minPadding: 0.2,
maxPadding: 0.2, title: {
text: 'Voltios',
margin: 10
} },
plotOptions: {
line: {
dataLabels: {
enabled: true}, enableMouseTracking: true }},
series: [{
name: 'Tiempo',
data: (function() { var data = [];
<?php
for($i = 0 ;$i<count($rawdata);$i++){
?>
data.push([<?php echo $arrayTiempo[$i];?>,<?php echo $voltaje[$i];?>]);
<?php } ?>
return data;
})();
}]
});
</script>
</div> </div> </div> </div>
<div class="container">
<div class="row">
<div class="col-md-12">
<h4 class="page-head-line">
<?php
if($dispositivo == "")
echo "SELECCIONAR DISPOSITIVO";
else
echo "CORRIENTE DE ".strtoupper($dispositivo);
?> </h4>
</div>
</div>
<div class="row">
<div class="col-md-12">
<div class="alert alert-warning">

```

```

<p align="justify">La gráfica muestra el comportamiento de la magnitud eléctrica corriente.</p>
<div id="container2" style="min-width: 310px; height: 400px; margin: 0 auto"></div>
<script type="text/javascript">
Highcharts.chart('container2', { chart: { type: 'line'
},
title: {
text: 'Corriente'
},
subtitle: {
text: 'Datos recibidos'
},
xAxis: {type: 'datetime'
},
yAxis: {
minPadding: 0.2,
maxPadding: 0.2, title: { text: 'Amperios',
margin: 10 } },
plotOptions: {
line: {
dataLabels: { enabled: true
},
enableMouseTracking: true
} },
series: [{
name: 'Tiempo',
data: (function() { var data = [];
<?php
for($i = 0 ;$i<count($rawdata);$i++){?>
data.push([<?php echo $arrayTiempo[$i];?>,<?php echo $corriente[$i];?>]);
<?php } ?>
return data; })() ] ] );
</script>
</div> </div> <div class="container">
<div class="row">
<div class="col-md-12">
<h4 class="page-head-line">
<?php
if($dispositivo == "")
echo "SELECCIONAR DISPOSITIVO";
else
echo "POTENCIA DE ".strtoupper($dispositivo);
?>
</h4>
</div>
</div>
<div class="row">
<div class="col-md-12">
<div class="alert alert-warning">
<p align="justify">La gráfica muestra el comportamiento de la magnitud eléctrica potencia.</p>
<div id="container3" style="min-width: 310px; height: 400px; margin: 0 auto">
</div>
<script type="text/javascript">
Highcharts.chart('container3', { chart: {

```

