

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO CON SISTEMA DE MEDICIÓN DE
CONSUMO ELÉCTRICO RESIDENCIAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
INTERNET DE LAS COSAS**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento
Eléctrico

Autor:

César Xavier González Tayo

Director:

Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo MSc.

Ibarra-Ecuador

2023

Autorización de uso y publicación a favor de la Universidad Técnica del Norte



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003209689
APELLIDOS Y NOMBRES:	González Tayo César Xavier
DIRECCIÓN:	San Antonio-Barrio la Cruz-calle Velasco Ibarra
EMAIL:	cxgonzalez@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0983801334

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DESARROLLO DE UN PROTOTIPO CON SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO RESIDENCIAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS
AUTOR (ES):	González Tayo César Xavier
FECHA: DD/MM/AAAA	22/02/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Naranjo Cobo Francisco Roberto MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de marzo del 2023

EL AUTOR:


González Tayo César Xavier
C.I.: 1003209689

Certificación del director



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Ing. Naranjo Cobo Francisco Roberto MSc.

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: González Tayo César Xavier, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"DESARROLLO DE UN PROTOTIPO CON SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO RESIDENCIAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS"**.

Para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Ibarra, a los 22 días del mes de febrero del 2023

Lo certifico:


Ing. Naranjo Cobo Francisco Roberto MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

El presente trabajo de grado se lo dedico principalmente a Dios, quien con su ayuda me brindó las fuerzas necesarias para no renunciar y alcanzar uno de mis objetivos en mi formación académica y profesional, a mi familia, quienes desde pequeño me enseñaron que una educación de calidad fomenta las bases para un futuro mejor y próspero, y además que siempre estuvieron presentes con un apoyo incondicional en todo aspecto emocional, personal y económico, sabiéndome guiar por los buenos senderos para la toma de decisiones. A mi madre por sus buenas enseñanzas, palabras de aliento y consejos motivacionales que me proporcionaron el deseo de superación de lograr alcanzar mis metas propuestas y nunca renunciar a ellas, y su gran ejemplo de lucha con optimismo ante situaciones complicadas. A mi novia Mireya, por sus palabras de aliento y porque nunca dudo de mis capacidades, sus incontables consejos para no rendirme y seguir luchando ante cualquier adversidad que se me presente, A mis amigos, por ayudarme a trabajar en equipo, por compartirme conocimiento cuando no la tenía o no la comprendía, por las experiencias vividas y su apoyo incondicional ante todo.

Agradecimientos

Le Agradezco a Dios por brindarme la salud, sabiduría y entendimiento para haber culminado con éxito uno de muchos objetivos en mi formación académica y profesional, por cuidarme ante cualquier adversidad o mala persona malintencionada, y por brindarme la fortaleza en tiempos de debilidad. Le doy mis agradecimientos sinceros y de corazón a mi familia por apoyarme en todo momento, escucharme cuando lo necesitaba y por los valores que me inculcaron tener siempre ante las persona y en la vida, a mi madre Patricia Tayo por haberme brindado una educación de calidad y de excelencia en el transcurso de mi vida, la enseñanza de buenos valores, a que nunca dude de mis habilidades y que soy capaz de realizar cualquier cosa si me lo propongo, agradezco su guía para que nunca me aleje de Dios y que siempre crea y no desmaye ante problemas.

También agradezco a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte, por compartir su conocimiento y hacérmelo llegar de una forma fácil e interactiva, para que no tenga dudas e inquietudes a lo largo de mi formación académica y profesional. De igual manera agradecer a mi tutor el Ing. Francisco Naranjo Cobo MSc por su orientación, apoyo, opinión, comprensión y su paciencia brindada para lograr desarrollar con éxito el trabajo de grado presente, sin lugar a duda estoy muy agradecido por su ayuda y enseñanzas ya que despertó en mi la curiosidad y motivación de seguir creciendo académicamente en el ámbito de la Electrónica y programación.

Tabla de contenido

Autorización de uso y publicación a favor de la Universidad Técnica del Norte	II
Certificación del director	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	IX
Abstract	X
Contextualización	XI
Planteamiento del problema	XIII
Objetivos	XIV
Justificación	XV
Alcance.....	XV
Viabilidad.....	XVI

CAPÍTULO 1

Marco Teórico.....	1
1.1 Conceptos básicos	1
1.1.1 Energía eléctrica.....	1
1.1.2 Consumo Eléctrico.....	1
1.1.3 Corriente.....	1
1.1.4 Voltaje	2
1.1.5 Valor eficaz o Valor Cuadrático Medio (RMS).....	2
1.1.6 Potencia	2
1.1.7 Factor de potencia	2
1.2 Medidores de consumo eléctrico	2
1.3 Medidor electrónico digital	4
1.4 Medidor inteligente	5
1.5 Métodos de monitoreo del consumo de energía eléctrica	10
1.6 Microcontroladores	11
1.7 Computadora de una sola placa (Single Board Computer)	13
1.8 Análisis entre microcontroladores y Single Board Computer	14
1.9 Internet de las Cosas.....	16
1.9.1 Características.....	16
1.9.2 Arquitectura IoT	16
1.9.3 Capas básicas	17
1.9.4 Tecnologías de comunicación.....	18
1.9.5 Estándares de conectividad WiFi.....	21

1.9.6 Protocolos de comunicación.....	24
1.10 Parámetros y criterios de selección considerados	27

CAPÍTULO 2

Diseño del prototipo de medición de consumo eléctrico con aplicación del Internet de las Cosas.....	29
2.1 Metodología	29
2.2 Materiales.....	30
2.2.1 Hardware del medidor	33
2.2.2 Software del medidor.....	41
2.3 Resultados y discusión.....	45

CAPÍTULO 3

Implementación del prototipo de medición mediante pruebas de funcionamiento.....	56
3.1 Metodología	56
3.2 Materiales.....	60
3.3 Resultados y Discusión	62
3.4 Análisis crítico-técnico del funcionamiento del prototipo de medición.	79
3.5 Costo del prototipo	80
Conclusiones	83
Recomendaciones	84
Bibliografía.....	85
Anexos	92
Anexo A: Diseño de la placa PCB de la tarjeta electrónica de adquisición de datos. ..	92
Anexo B: Tarjeta electrónica de adquisición de datos terminada	93
Anexo C: Hoja de datos del sensor ACS712.....	94
Anexo D: Hoja de datos del relé de estado sólido.....	95
Anexo E: Hoja de datos del NodeMCU v3.	96
Anexo F: Manual de Usuario Pinza amperimétrica ALL-SUN EM-305A.....	97
Anexo G: Código de programación en el Arduino	98
Anexo H: Código de programación en el NodeMCU ESP8266	99

Índice de Figuras

Figura 1. Medidor Inteligente	5
Figura 2. Diagrama de bloques para adquisición de datos.....	6
Figura 3. Divisor de voltaje.....	7
Figura 4. Cápsulas de sensores Hall	8
Figura 5. Esquema típico de los sensores Hall convencionales	9
Figura 6. Curva de sensibilidad.....	9
Figura 7. Diagrama de bloques de un medidor inteligente	10
Figura 8. Single-Board Computer.....	13
Figura 9. Arquitecturas IoT.....	17
Figura 10. Capas básicas del Internet de las Cosas	18
Figura 11. Tecnología y conceptos Ethernet.....	19
Figura 12. Comparativa entre las distintas tecnologías inalámbricas	21
Figura 13. Estándares WiFi.....	22
Figura 14. Cobertura de los Estándares WiFi	23
Figura 15. Comparativa de capacidades de los estándares 802.11n y 802.11ac.....	24
Figura 16. Comunicación MQTT	26
Figura 17. Modelo en Espiral	29
Figura 18. Esquema de Hardware del medidor.....	33
Figura 19. Fuente de Alimentación Hi-Link HLK-PM01	37
Figura 20. Módulo Hi-Link HLK-PM03.....	37
Figura 21. Interfaz EasyEDA.....	42
Figura 22. Interfaz Arduino IDE.....	43
Figura 23. Plataforma MOSQUITTO	43
Figura 24. Componentes LAMP	44
Figura 25. Interfaz Ubidots.....	44
Figura 26. Proceso de funcionamiento del sistema de medición.....	45
Figura 27. Circuito acondicionador de la señal de voltaje	47
Figura 28. Diseño electrónico	48
Figura 29. Flujograma del censado de voltaje RMS.....	50
Figura 30. Flujograma del censado de corriente RMS	51
Figura 31. Diagrama de flujo para la conexión y envío de información a la base de datos Raspberry	52
Figura 32. Diagrama de bloques de almacenamiento de datos en el Raspberry.....	53
Figura 33. Dimensiones de la estructura del medidor	55
Figura 34. Montaje de los transformadores, tomacorrientes, interruptor termomagnético y base de relé.	57
Figura 35. Montaje de los botones switch, luz piloto, RESET y fuentes de alimentación.	57
Figura 36. Conexión entre tomacorrientes, transformadores y simultáneamente entre los sensores y módulos relé.....	58
Figura 37. Instalación de la tarjeta electrónica	58
Figura 38. Conexión módulos relé y tarjeta relé.	59
Figura 39. Ensamblaje de la pantalla Nextion HMI.....	59
Figura 40. Prototipo Armado y placa terminada	60
Figura 41. Pinza Amperimétrica ALL-SUN EM-305A	62
Figura 42. Medidor Electromecánico Bifásico	63
Figura 43. Comparativa de los valores de tensión entre la pinza amperimétrica y el sistema de medición de voltaje.	63

Figura 44. Comparativa de las mediciones de Voltaje.....	65
Figura 45. Comparativa de los valores de corriente entre la pinza amperimétrica y el prototipo.....	66
Figura 46. Comparativa de las mediciones de Corriente.....	68
Figura 47. Comparativa de las mediciones de Potencia.....	70
Figura 48. Medición del consumo entre el medidor y el prototipo.....	72
Figura 49. Comparativa de las mediciones de consumo	73
Figura 50. Recepción y transmisión de los datos por parte del NodeMCU.....	74
Figura 51. Monitoreo MQTT	75
Figura 52. Página de ingreso y registro al sistema de monitoreo	76
Figura 53. Página de bienvenida del sistema de monitoreo	76
Figura 54. Página de monitoreo de las variables eléctricas del sistema de medición..	77
Figura 55. Almacenamiento de los datos en la tabla mediciones	78
Figura 56. Plataforma Ubidots para monitoreo y control de cargas	78
Figura 57. Interacción con el asistente Google	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de medidores eléctricos de acuerdo con especificaciones	3
Tabla 2. Aspectos considerados dentro de los microcontroladores.....	11
Tabla 3. Comparativa entre SBC vs Microcontrolador.....	14
Tabla 4. Clasificación sensores de corriente ACS.....	34
Tabla 5. Módulos WiFi más usados	35
Tabla 6. Raspberry más interesantes	36
Tabla 7. Displays LCD	38
Tabla 8. Relé SSR vs Relé electromecánico.....	39
Tabla 9. Tabla comparativa de los microcontroladores más usados	40
Tabla 10. Conexión de pines de los componentes electrónicos	49
Tabla 11. Valores de tensión medidos por el prototipo.....	64
Tabla 12. Precisión, error absoluto y relativo en diferentes puntos de medición de tensión AC.....	64
Tabla 13. Valores de corriente medidos por el prototipo	66
Tabla 14. Precisión, error absoluto y relativo medidos en las diferentes cargas.....	67
Tabla 15. Valores proporcionados por los fabricantes.....	68
Tabla 16. Valores de potencia medidos por el prototipo.....	69
Tabla 17. Precisión, error absoluto y relativo en los puntos de medición de potencia de las diferentes cargas.....	70
Tabla 18. Error relativo y absoluto en los diferentes puntos de medición de consumo.	72
Tabla 19. Presupuesto.....	80

Resumen

Actualmente los medidores de consumo eléctrico residencial se encuentran limitados a la lectura de valores totales mensuales más no individuales que tienen los dispositivos dentro del hogar, provocando que los usuarios desconozcan el consumo que están generando y consecuentemente ocasionando aumentos de consumo por el uso incontrolado, afectando en la parte económica y energética. Con el progreso de la tecnología se han abierto varias posibilidades de mejora en cuanto al control del consumo energético, pero no han sido aplicadas al cien por cien debido a su costo; una de las más llamativas en este campo se trata del Internet de las Cosas, el cual se enfoca en permitir a los dispositivos eléctricos/electrónicos conectarse a internet para ser monitoreados y controlados sin la necesidad de una intervención física entre dispositivo y usuario.

El objetivo de esta investigación es desarrollar un prototipo de sistema de medición de consumo eléctrico residencial mediante la aplicación de Internet de las Cosas utilizando la metodología de tipo espiral, la cual permite el diseño e implementación de prototipos mediante la selección de componentes a fines a los requerimientos y pruebas de funcionamiento hasta alcanzar el objetivo propuesto. Dichas pruebas de funcionamiento mostraron de que el sistema de medición tiene una exactitud promedio total entre todos los parámetros eléctricos de $\pm 6.70\%$, el cual no se encuentra alejado de las lecturas de los instrumentos patrones, este porcentaje de error se debe mayormente a factores externos que internos que afectan al sistema, estos aspectos conllevan a deducir que el prototipo está cumpliendo con el funcionamiento esperado, logrando mejorar la función de monitoreo y control remoto de los dispositivos, generando una concienciación del uso de la energía y por ende una disminución de los costos por el pago de las tarifas por uso descontrolado de las cargas.

Abstract

Nowadays, Residential electricity meters are currently limited to the total reading monthly values instead of the individual ones devices have inside at home. As a consequence, the users are unaware of the real consumption that has been generated and causing the increases due to uncontrolled use, affecting the economy and energy. However, technological progress has several many possibilities for improvement in terms of energy consumption control, but they have not been applied a hundred percent due to their cost. One of the most striking in this field is the Internet of Things, which focuses on allowing electrical/electronic devices to connect to the Internet to be monitored and controlled without physical intervention between the device and the user.

The goal of this research is to create a prototype of a residential electricity consumption measurement system through the application of the Internet of Things using the spiral-type methodology, which allows the design and implementation of prototypes through the selection of components, which requirements and performance tests until reaching our goals. The performance tests showed us that the measurement system has a total average accuracy among all the electrical parameters of $\pm 6.70\%$, which is not far from readings with the standard instruments. In fact, This percentage of error is mainly due to external factors rather than internal ones that affect the system. These aspects lead to deducing that the prototype is working as we expected, achieving the improved function of monitoring and remote control of the devices, generating awareness of the use of energy and therefore a decrease of costs in payments of fees for uncontrolled use.

Palabras clave: medidor inteligente, IoT con MQTT, sistema de medición de consumo eléctrico, medidor IoT, servidor web con Raspberry.

Contextualización

El Internet de las Cosas (IoT) es un tipo de tecnología con características novedosas y de gran impacto, por el motivo de permitir a los dispositivos eléctricos/electrónicos estar conectados a través de internet y simultáneamente estar equipados con diferentes tipos de sensores y actuadores (Molano, 2017). Con el propósito de generar, intercambiar, manipular y almacenar la información proporcionada con una mínima intervención entre individuo y dispositivo.

El almacenamiento de información y datos proporcionados por los dispositivos eléctricos/electrónicos permite conocer su comportamiento para un posterior control y monitoreo (González, 2018), es decir si hay comunicación entre los diferentes dispositivos en cuanto a enviar y recibir datos de una manera constante, se podrá realizar ciertas acciones necesarias dependiendo de la situación que se les desea aplicar. Por lo que últimamente se ha realizado implementaciones de aplicaciones de Cloud Computing con el fin de poder permitir el acceso y manipulación de manera online de los datos almacenados que se encuentran dentro de la nube para una mejor interacción entre los diferentes dispositivos conectados.

El IoT presentó algunos problemas al comienzo debido a su pronta implementación; según (Molano, 2017) comenta que uno de los más destacables problemas que tenían era “la interconexión entre los dispositivos inteligentes ya que existía diferencias tanto de software y hardware que utilizaban cada uno de estos”. El resto de los problemas se relacionaban a la parte de consumo energético, la integración de la memoria, la potencia de procesamiento, resistencia a entornos hostiles y los diferentes tipos de microcontroladores que tenían integrados (NANOSYSTEMS, 2008), todos estos aspectos dificultaban a que exista un mejor entendimiento entre los dispositivos y puedan realizar las actividades de forma acoplada y funcional.

Por lo tanto, al ser una nueva tecnología el IoT también sufre problemas en cuanto a privacidad y seguridad, debido a la falta de confiabilidad y resguardo que tienen los dispositivos usados comúnmente dentro de los hogares. (Internet Society, 2019), provocando a la posibilidad de ser afectados con el robo informático en lo que respecta a la información personal que generen los usuarios. Otro campo en el que se encuentra una vulnerabilidad es concernientemente a las interfaces que tienen, es decir que estas se encuentran desarrolladas y configuradas de una manera no adecuada en cuanto a la monitorización hacia los dispositivos, lo que comprometería que no se gestione

correctamente el proceso de transmisión y recepción de datos generados por dichos dispositivos. (INCIBE, 2019).

En lo que respecta al tema de consumo eléctrico residencial se puede denotar que este va en aumento por el uso incontrolado de dispositivos eléctricos o electrónicos, debido a factores tales como los malos hábitos, desconocimiento del consumo que generan o la baja eficiencia energética que posee dichos dispositivos. Lo que ocasiona problemas en cuanto a lo económico y a lo energético, es decir habrá un costo elevado por dicho consumo o un derroche de energía por su uso innecesario.

Por último, si el desarrollo del IoT se convierte en realidad, esto podría obligar a un cambio de mentalidad con respecto a las implicaciones y problemas en un mundo donde la interacción más frecuente con Internet provendrá de la interacción pasiva con objetos conectados y no de una interacción activa con el contenido. (Karen Rose, Scott Eldridge, Lyman Chapin, 2015)

Planteamiento del problema

En la actualidad con el avance de la tecnología han aparecido nuevos dispositivos eléctricos/electrónicos con los cuales las personas han podido mejorar su estilo de vida dentro de sus hogares, lo que ocasionó que los usen frecuentemente, pero de una manera no controlada; logrando así a que no exista una concienciación en la gestión del ahorro energético por no desconectar ciertos dispositivos cuando no se los está utilizando. La gran problemática de esto se debe a que los medidores de energía eléctrica convencionales se encuentran limitados al registro del consumo general y no al registro individual de los dispositivos, en cierta manera dificultando al usuario con la posibilidad de observar el consumo diario que están teniendo sus artefactos utilizados.

Los dispositivos eléctricos/electrónicos cuando están encendidos, pero no son usados se encuentran en un modo llamado de espera o Standby, los cuales consumen energía durante todo el día desapercibidamente. De acuerdo con (Zhen, Yanan, Feng, Wenjun, & Lin, 2014) “El aumento de electrodomésticos en modo de espera provoca que el consumo de estos ya no sea de forma insignificante, al contrario, se estima que en una vivienda promedio, la pérdida de energía vaya entre el 4% al 14%”. Este consumo innecesario conlleva en un desperdicio de energía que podría ser aprovechada para otros fines, para eliminar dicho problema existen algunos sistemas de gestión de energía de tipo hardware y software que pueden socorrer a los usuarios con el control con sus dispositivos, pero de cierta manera no automatizados; lo que ocasiona que no se solucione en su totalidad la problemática.

Por lo tanto, el uso de las nuevas tecnologías como, la implementación del IoT ayudará a cambiar y mejorar la matriz energética dentro de los hogares, es decir induciendo a un ahorro mediante el monitoreo y control del consumo de los dispositivos eléctricos/electrónicos en funcionamiento o en estado Standby desde cualquier lugar, adicionalmente muchos de estos dispositivos podrán establecer enlaces y consecuentemente comunicarse con otros dispositivos por sí mismos de forma simultánea para realizar tareas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un prototipo de sistema de medición de consumo eléctrico residencial mediante la aplicación de Internet de las Cosas

Objetivos Específicos

- Describir las tecnologías actuales de medición de consumo de energía eléctrica mediante Internet de las Cosas.
- Diseñar un prototipo de medidor de consumo eléctrico con aplicación del Internet de las Cosas.
- Implementar el prototipo de medición.

Justificación

Últimamente con los avances tecnológicos y la aparición de nuevos dispositivos que facilitan la vida cotidiana genera que los usuarios se preocupen en cierta manera un poco más con respecto al consumo de energía en los hogares, por esta razón la implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica con ayuda del IoT se ve factible y acorde al requerimiento, debido a que este permitirá al monitoreo y control de los dispositivos. Al hacer uso del IoT es necesario basarse de la normativa ISO/IEC 30141, el cuál según (ISOTOOLS, 2018) es “El primer estándar internacional que proporciona una arquitectura de referencia” con el fin de desarrollar un sistema fiable, seguro y protegido para que los usuarios se sientan cómodos mediante su uso.

La importancia del proyecto se basa en medir y controlar el consumo de dispositivos eléctricos/electrónicos que se encuentren en funcionamiento o en Standby; promover a la concienciación del ahorro energético a través de un equipo electrónico de bajo costo, fácil utilización, con acoplamiento de una tecnología inalámbrica para acceder a la información desde diferentes lugares sin la necesidad de estar presente físicamente con el equipo.

Los beneficiarios serían todas las personas que hacen uso del servicio eléctrico en sus viviendas, ya que impulsaría al adecuado manejo de los dispositivos eléctricos/electrónicos que están usando mediante un sistema de medición con una interfaz de fácil manipulación.

Alcance

Este proyecto se enfocará en el diseño y desarrollo de un prototipo de medidor de consumo eléctrico con la aplicación del Internet de las Cosas, el cual contará con sensores tanto de corriente como de voltaje, unidades de procesamiento y adquisición de información, todo esto con el apoyo de algunas plataformas de software libre. La funcionalidad del prototipo se enfocará primeramente en realizar mediciones a cinco dispositivos eléctricos/electrónicos de entre cincuenta a quinientos vatios que se encuentren comúnmente dentro de los hogares, seguidamente con la visualización y envío de dicha información a una base de datos, bróker MQTT y plataforma IoT para su debido almacenamiento. Además de proporcionar el monitoreo y control de los dispositivos a través de una página web que únicamente tendrá acceso el usuario.

Viabilidad

Para el desarrollo del prototipo se verá necesario hacer uso de un microcontrolador para la debida adquisición de datos provenientes por los diferentes tipos de dispositivos eléctricos/electrónicos, unidad de procesamiento para el almacenamiento de los datos con la tecnología IoT. Estos dispositivos se encuentran dentro de una gran gama, de los cuales únicamente se diferencian según el tipo de aplicación que se verán afectados; por lo que es factible su compra y adquisición dentro del mercado.

En lo que respecta con lo relacionado al software, existe una gran variedad de programas ya sean de código libre o de paga; con un nivel de dificultad promedio en cuanto a su manejabilidad, es decir se las puede comprender a través de manuales o tutoriales de uso; dentro de este campo también se suma la tecnología IoT, el cual se lo cubrirá a través de plataformas como Kaa, Thinger.io o Ubidots; las cuales están caracterizadas por soportar múltiples protocolos de comunicación, sensores y actuadores.

Para cumplir en su totalidad la aplicación del IoT en correlación con sus plataformas, es necesario de una unidad de comunicación que permita la recepción y la transmisión de información de manera ininterrumpida y en tiempo real; dentro de los requerimientos se encuentra el Esp8266, el cual es un dispositivo electrónico conocido para este tipo de tecnología.

En lo que concierne en el campo de adquisición de datos para la medición del consumo eléctrico se tiene pensado hacer uso del circuito integrado ADE 7753 o el ADE 7755; los cuales son medidores de potencia eléctrica monofásica con la capacidad de comunicación con microcontroladores, lo cual facilitará en cierto grado la resolución del prototipo. En lo que respecta a los sensores que aportarán a la adquisición de datos tanto de corriente como de voltaje se encuentran la familia del ACS712 y divisores de voltaje respectivamente. En cuanto al diseño se utilizará el software EasyEDA, el cual facilitará al diseño electrónico y la elaboración de la placa PCB (Placa de circuito impreso). Con respecto a la factibilidad económica de este proyecto dependerá plenamente del financiamiento del autor como de la escala, es decir si se quiere aplicar más dispositivos a medir, implementación en un lugar en específico, utilización de componentes más costosos o de procedencia importada, el precio cambiará.

CAPÍTULO I

Marco Teórico

El presente capítulo contiene la información bibliográfica y técnica, en cuanto a los conceptos necesarios para la comprensión y entendimiento de la estructura y funcionamiento de un medidor inteligente de consumo eléctrico, contextualización del Internet de las Cosas, y finalmente el establecimiento de los parámetros necesarios a considerar para el diseño y construcción de un prototipo de medición con conexión IoT.

1.1 Conceptos básicos

Definición de ciertos parámetros eléctricos que se encuentran comprendidos o relacionados en un medidor de consumo eléctrico.

1.1.1 Energía eléctrica

La energía eléctrica es una de las muchas formas de energía que existen en la naturaleza, pero esta es la más usada en la vida cotidiana de las personas, esta forma de energía es provocada por el diferencial de potencial que hay entre dos puntos, lo que ocasiona el movimiento de las cargas eléctricas, es decir los electrones cuando se les pone en contacto con conductores eléctricos. (Gutierrez, s.f.).

1.1.2 Consumo Eléctrico

El consumo eléctrico es la cantidad de energía utilizada por el consumidor durante un determinado tiempo, el cuál es facturado por las empresas eléctricas o distribuidoras al asignar un precio al kWh que es el que determina la cantidad de dinero que tendrá que saldar el consumidor al final del periodo mensual. (Selectra, 2021)

1.1.3 Corriente

La corriente eléctrica se establece como la cantidad de carga eléctrica que transcurre a través del conductor en un determinado tiempo. A este parámetro eléctrico se lo denomina con el símbolo I con su respectiva unidad de medida (A) amperios (Robbins & Miller, 2008).

1.1.4 Voltaje

Diferencial de potencial que se produce cuando las cargas están separadas o transferidas de un punto hacia otro. Se lo denomina con el símbolo (V) con su respectiva unidad de medida voltios (Robbins & Miller, 2008).

1.1.5 Valor eficaz o Valor Cuadrático Medio (RMS)

Consiste en un valor de corriente directa que transmite la misma potencia promedio a un resistor que la que debe transmitir una fuente variable de manera periódica o alterna. (Alexander & Sadiku, 2013). En otros términos, se puede comprender como el valor equivalente de DC de una forma de onda AC.

1.1.6 Potencia

Es la capacidad de realizar un trabajo en un tiempo determinado o la energía consumida para realizar cualquier tipo de actividad de un aparato eléctrico o electrónico. Se lo representa de acuerdo con el sistema de unidades como el vatio (W). (Robbins & Miller, 2008)

1.1.7 Factor de potencia

Es una forma de describir o indicar en aspectos cualitativos y cuantitativos el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, es decir cuanta energía se ha convertido en trabajo. El factor de potencia se lo puede obtener de varias formas matemáticas entre ellas la razón de la potencia activa con la potencia aparente, igual al $\cos \theta$; donde θ es el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente. (Robbins & Miller, 2008)

1.2 Medidores de consumo eléctrico

Los medidores de consumo eléctrico son dispositivos cuyo objetivo es monitorizar en tiempo real el consumo de energía eléctrica de un aparato o conjunto de aparatos.

(Samaniego, 2016) dice que “un medidor de energía es un equipo que ayuda a monitorear el consumo de energía que está provocando un cliente, además de realizar una facturación por dicha energía consumida, la cual es medida en kilovatios-hora

(kWh)”. El contador o medidor de consumo eléctrico es un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica de un circuito o un servicio eléctrico, siendo ésta la aplicación usual. (Lopez, 2011)

Se puede comprender que un medidor de energía eléctrica es un equipo encargado de medir el consumo de energía en un determinado periodo, la cual es facturada por la empresa eléctrica o distribuidora.

Clasificación de los Medidores eléctricos

En la actualidad existe una extensa clasificación de los medidores eléctricos de acuerdo con algunas especificaciones, como se puede observar en la Tabla 1 la cual detalla los aspectos más destacables como construcción, tipo de energía que miden y tipo de corriente que funcionan.

Tabla 1. Clasificación de medidores eléctricos de acuerdo con especificaciones

Aspectos	Concepto	Referencias
Construcción	Electromecánicos. – Tiene bobinados de corriente y de tensión los cuales influyen en un disco, el cual tiene una velocidad de giro proporcional a la corriente que estos emiten.	(cursosvega, 2016) (Samaniego, 2016)
	Electrónicos. - Los medidores electrónicos utilizan convertidores analógico-digitales.	
Tipo de energía que miden	Activa. - Registra la cantidad de energía activa que las empresas suministradoras entregan al abonado. La unidad de medida es el kilovatio hora (kW/h.)	(Bibing, s.f.) (cursosvega, 2016)
	Reactiva. - Si en la instalación del abonado hay receptores de carácter inductivo, se usa el contador de energía reactiva para calcular el factor de potencia	

Aspectos	Concepto	Referencias
	medio de la instalación. La unidad: (kVAR/ h).	
Tipo de corriente	<p>Monofásicos. - El medidor es utilizado para conexiones monofásicas, que alimentan potencias inferiores a 6 KWH y de conexionado de dos cables de ingreso.</p> <p>Trifásicos. - Utilizado para conexiones trifásicas, que alimentan potencias superiores a 6 kW y conexionado de tres cables de ingreso.</p>	(Company, s.f.)

Fuente: Autor

En sí el tipo de medidor depende de las características específicas que vaya a realizar o el medio en donde va a ser sometido para realizar sus acciones. Adicionalmente a los aspectos descritos con anterioridad se encuentra el tipo de clase según la exactitud, las cuales se destaca entre 0.5, 1 y 2; en donde estos índices expresan el límite de error porcentual admisible.

1.3 Medidor electrónico digital

(Samaniego, 2016) argumenta que “el medidor electrónico muestra los estados de energía activa y reactiva de una manera alternada y secuenciada en un display para la observación completa y detallada de todos los aspectos eléctricos presentes”.

El registro que realizan se lo hace por medio de un proceso digital, utilizando microprocesadores y memorias.” Los cuales se puede clasificar por demanda o multitarifa.

- Medidores de demanda: miden y almacenan la energía eléctrica total consumida con una única demanda en las 24 horas teniendo un solo periodo y una sola tarifa.

- Medidores multitarifa: miden y almacenan la energía eléctrica total y con demandas en diferentes tramos de las 24 horas. Teniendo diferentes tarifas pueden registrar varios parámetros como energía y factor de potencia.

1.4 Medidor inteligente

Son equipos electrónicos mejorados los cuales tienen implementados nuevas funciones los cuales se encargan de la medición y gestión del consumo de energía de manera remota, sin la necesidad de que un representante de la empresa tenga que ir a realizar las lecturas correspondientes. (tecnicoo, 2018)

(Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016) mencionan que “Los medidores inteligentes se definen como una mejora de los medidores electrónicos, debido a que estos aparte de poseer las características de los electrónicos implementan nuevas funciones”. La función principal es posibilitar una comunicación bidireccional, entre el usuario, a través de su medidor, y la empresa que presta el servicio eléctrico.

En la Figura 1 se puede observar detenidamente como es la estructura convencional de un medidor inteligente.



Figura 1. Medidor Inteligente

Fuente: (McGovern, s.f.)

Los medidores inteligentes son dispositivos que facilitan a los usuarios a poder monitorear y controlar sus consumos; eliminar la necesidad de hacer uso de personal técnico para su registro, debido a que estos poseen características de envío, recepción y almacenaje de información de forma remota. En la Figura 1 se pudo observar la estructura convencional de un medidor inteligente que se utilizan en las residencias, de los cuales varían según el fabricante o proveedor.

Descripción de funcionamiento

(Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016) mencionan que “En el medidor inteligente se requiere realizar la medición tanto de la corriente como la del voltaje, es decir se necesitan dos tipos de traductores”. La medición de la corriente tanto como la del voltaje son fundamentales para poder realizar las operaciones y arreglos, en cuanto a la obtención de los datos de energía que necesita el medidor inteligente para dar una correcta propuesta de medida.

a) Adquisición de Señales

En la Figura 2 se observa el diagrama de bloques necesario e idóneo para la obtención de datos para el cálculo del consumo necesario para el funcionamiento de un medidor inteligente.

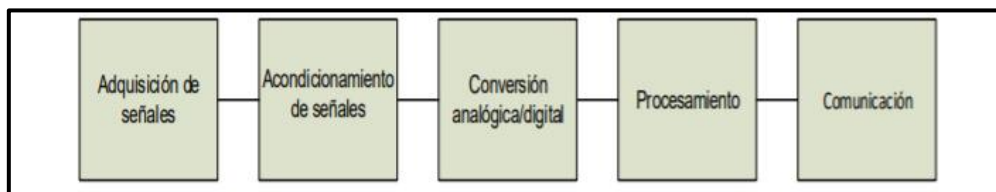


Figura 2. Diagrama de bloques para adquisición de datos

Fuente: (Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016)

Todo este proceso lo realiza una unidad de procesamiento o microcontrolador, a través del uso de componentes enfocados con el censado de parámetros eléctricos; con la finalidad de realizar procesos matemáticos y lógicos en cuanto a las lecturas obtenidas y así poder transmitirlos a una unidad de comunicación establecida.

b) Sensor de voltaje

Los sensores de voltaje que se encuentran comúnmente dentro de los medidores suelen ser únicamente una configuración sencilla de un divisor de voltaje, con la finalidad de disminuir el voltaje de entrada y obtener un voltaje de salida proporcional; para que la unidad de procesamiento no sufra daños y pueda cumplir la función de cálculos matemáticos y lógicos. (Ver Figura 3)

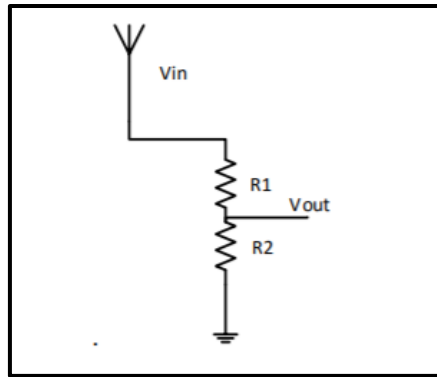


Figura 3. Divisor de voltaje

Fuente: (Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016)

Los valores de $R1$ y $R2$ se eligen de modo que la señal de voltaje entre en el rango permitido por el conversor ADC.

En donde:

- V_{out} es el voltaje de salida
- V_{in} es el voltaje de entrada

Para este tipo de aplicación $R1$ y $R2$ suelen estar en la escala de $K\Omega$ (Kilo-Ohm) para producir una baja disipación de potencia.

c) Sensores de corriente

Dentro de los medidores de energía los sensores de corriente más usados suelen ser:

- Resistencias Shunt
- Transformadores de corriente
- Bobinas Rogowski
- Sensores basados en el efecto hall

Las resistencias Shunt son un tipo de sensor de bajo costo el cual consiste en un pequeño resistor en serie con la carga para producir un voltaje de salida semejante a la corriente. El Transformador de Corriente consiste en un transformador que produce una corriente secundaria que es proporcional a la primaria con el propósito de aislar la señal enviada hacia el conversor ADC. Las bobinas de Rogowski son bobinas con núcleo

magnético que proporcionan un voltaje que es proporcional a la tasa de variación de la corriente. (Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016)

Los Sensores de Efecto Hall son generalmente circuitos integrados los cuales funcionan al hacer pasar una corriente cerca del mismo de manera que el campo magnético generado por esta pueda ser detectado y mediante el efecto Hall proporcionar un voltaje proporcional a la corriente medida. (Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016)

(Edwin Peláez, Pablo Jiménez, 2018) mencionan que “Los sensores Hall basan su funcionamiento de acuerdo con el efecto Hall, el cual se trata a una alteración en el movimiento de las cargas eléctricas presentes en el interior del conductor. Causado por la interacción entre el flujo de corriente eléctrica y el campo magnético”.

Como se puede observar en la Figura 4 existe una gran variedad de sensores Hall, en los cuales pueden variar su forma y tamaño, es decir puede haber desde al más pequeño hasta el más robusto dependiendo de la aplicación que van a tener.



Figura 4. Cápsulas de sensores Hall

Fuente: (Edwin Peláez, Pablo Jiménez, 2018)

En otras palabras, cuando un conductor portador de corriente se coloca entre un campo magnético, una tensión se generará perpendicular tanto a la corriente y el campo. (MecanicAPP, 2017)

Una configuración típica de un circuito interno de un sensor Hall, suele ser mediante la constitución de un amplificador, un circuito integrado y un filtro contra ruido; en donde los valores de salida suelen ser proporcionales a los de entrada. (Ver Figura 5)

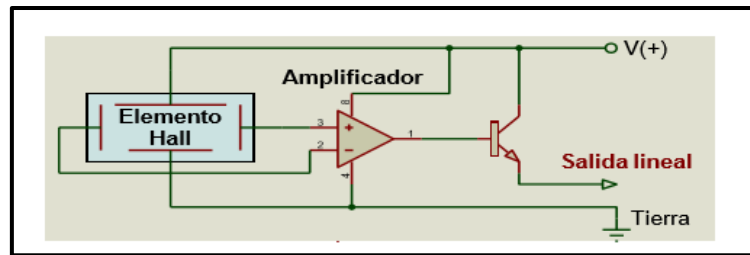


Figura 5. Esquema típico de los sensores Hall convencionales

Fuente: (Edwin Peláez, Pablo Jiménez, 2018)

En la Figura 6 se muestra la proporcionalidad que tiene la tensión de salida con la corriente o el campo magnético que es aplicado, con el fin de demostrar los niveles de saturación de acuerdo con la alimentación que estos tienen.

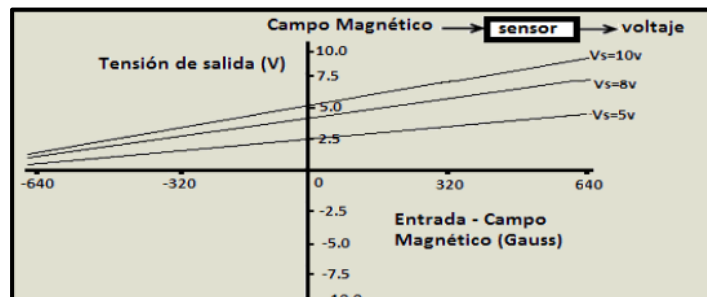


Figura 6. Curva de sensibilidad

Fuente: (MecanicAPP, 2017)

Como se pudo observar la tensión de salida varía linealmente con el aumento de la corriente o el campo magnético que se aplica para llegar a un nivel de saturación y evitar que se dañe el sensor Hall.

Estructura

(Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016) comentan que “un medidor inteligente comúnmente consta de los siguientes componentes de hardware”

- Unidades de medición de corriente y voltaje.
- Fuente de alimentación.
- Unidad de medición de energía (IC).
- Microcontrolador.
- Reloj de tiempo real.
- Unidad de comunicación.

En la Figura 7 se puede observar la estructura de un medidor inteligente con ayuda de un diagrama de bloques.

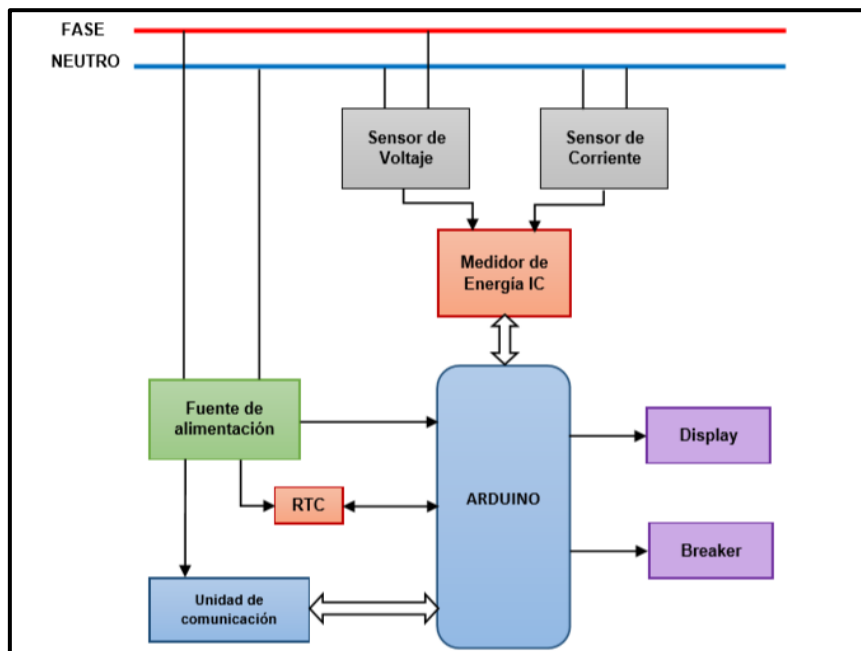


Figura 7. Diagrama de bloques de un medidor inteligente

Fuente: (Jairo Armijos, Álvaro Pesántez, 2016)

La mayor parte de la composición de un medidor digital inteligente se trata de la presencia de sensores encargados de adquirir los datos o lecturas de los parámetros eléctricos de corriente y voltaje, seguidamente de un proceso matemático o de la presencia de un medidor de energía; el cual se encargará de adquirir los datos provenientes para así ser asimilados y procesados con un microprocesador o microcontrolador. Y finalmente dicho datos ser transmitidos con ayuda de una unidad de comunicación hacia servidores para el control y monitoreo de forma remota de los dispositivos.

1.5 Métodos de monitoreo del consumo de energía eléctrica

Dentro de estos métodos de monitoreo se presentan dos tipos casos; el de forma invasiva y la no invasiva, los cuales se diferencian de acuerdo con la forma de medir la variable de la corriente con los diferentes tipos de sensores acordes a la ocasión. (Manuel, 2020)

Monitoreo no invasivo de consumo de energía eléctrica, este tipo de monitoreo hace hincapié a la medición de la corriente sin alterar el circuito eléctrico, colocando sensores cerca al conductor, con el fin de evitar daños, complicaciones y gastos al momento de realizar la medición; y sin la necesidad de interrumpir el proceso que está ejecutando. **Monitoreo invasivo de consumo eléctrico**, es la simple abertura del circuito en el cual se introduce un sensor invasivo para la medición de la corriente y consecuentemente la obtención del consumo eléctrico.

1.6 Microcontroladores

(Velasco) denota que “Un microcontrolador es un pequeño ordenador que contiene en su interior básicamente un procesador, soporte (reloj y reset), memoria y puertos de entrada-salida”, con la finalidad de realizar trabajos de programación o de instrumentación.

(Zambrano D. , 2017) establece que “Lo primero que se debe hacer antes de seleccionar cualquier tipo de dispositivo en especial, es necesario tener en cuenta ciertos parámetros en los que será sometido”. El microcontrolador es un dispositivo de uso muy común en proyectos eléctricos o electrónicos modernos, por su fácil manejo, programación y aplicación variada.

Tipos de Microcontroladores

Toca resaltar que los microcontroladores tienen una gran y amplia familia de las cuales también existen subdivisiones por lo que en la Tabla 2 trata de destacar las categorías relativamente importantes que se toma en consideración para su clasificación.

Tabla 2. Aspectos considerados dentro de los microcontroladores

Aspectos	Concepto	Referencias
Velocidad de procesamiento	Aproximado de entre los 8 MHz a 50 MHz.	(electrotec, 2021)
Voltaje de trabajo	Por lo general se encuentra convencionalmente de 5 V y 3.3 V, exóticos de 2.8 V y 1.8 V de	(MCI Capacitación, 2019)

Aspectos	Concepto	Referencias
	alimentación de corriente continua (DC).	
Clases de Memoria	RAM. - parte volátil encargada de almacenar las variables y los datos. ROM. – parte no volátil encargada de contener el programa de instrucciones que tiene la aplicación.	(Developer, 2012) (Arquitectura de Computadoras, 2010)
Cantidad de espacio de memoria	RAM. – 20 bytes, 68 bytes, 512 bytes hasta 4 K ROM. – 512 bytes, 1 K, 2 K hasta 64 K Según el tipo de memoria de programa, aplicación y utilización, es diferente la cantidad de memoria.	(Developer, 2012) (Arquitectura de Computadoras, 2010)
Bits	8 bits. – ejecuta la lógica & amp, operaciones aritméticas. 16 bits. – ejecuta mayor presión y rendimiento. 32 bits. – para procesamiento en dispositivos controlados automáticamente.	(electronicalugo, s.f.) (Zambrano D. , 2017) (Velasco)
Tipo de Memoria	Externa. – unidad que no tiene todas las funciones bloque en un chip. Incorporada. – unidad que tiene todas las funciones bloque en un chip.	(electronicalugo, s.f.) (Zambrano D. , 2017) (Velasco)
Conjunto de instrucciones	CISC. – Conjunto de instrucciones complejas. 1 instrucción RISC. – Ordenadores de conjuntos de instrucciones reducidos. Reduce el tiempo de operación.	(electronicalugo, s.f.) (Zambrano D. , 2017) (Velasco)
Arquitectura de memoria	Harvard. - dirección de memoria diferente entre el programa y datos.	(electronicalugo, s.f.) (Zambrano D. , 2017)

Aspectos	Concepto	Referencias
	Princeton. – dirección de memoria común entre el programa y los datos.	(Velasco)

Fuente: Autor

La clasificación de los microcontroladores se encuentra en un gran plano en donde varían según características y aspectos en los que se los vayan a implementar. En sí la selección de un microcontrolador se lo debe realizar de acuerdo con las especificaciones que el usuario quiera implementar o el medio donde se lo vaya a instalar.

1.7 Computadora de una sola placa (Single Board Computer)

Según Mora, (2015), menciona que un Single Board Computer (SBC) es un ordenador totalmente funcional que tiene todos sus componentes implementados en una única placa, los cuales cuentan con módulos o periféricos que permiten la comunicación con la placa para realizar cualquier necesidad concreta.

Una computadora de una sola placa (SBC) es una computadora completa construida en una sola placa de circuito, con un microprocesador (es), memoria, entrada / salida (I / O) y otras características requeridas de una computadora funcional. Las computadoras de una sola placa se crearon como sistemas de demostración o desarrollo, para sistemas educativos o para usar como controladores de computadora integrados. (TALEND, 2018). En la Figura 8 se puede observar cómo se puede encontrar de manera convencional una placa SBC dentro del mercado tecnológico.



Figura 8. Single-Board Computer

Fuente: (Mora, 2015)

En forma sencilla y explicada un SBC es la representación física de una computadora en tamaño reducido, explícitamente en una pequeña placa con la facilidad de

comunicación para el control de otros dispositivos que permitan realizar cualquier actividad concreta.

Características que contiene un Single Board Computer

Según Mora, (2015), establece que algunas características destacables que posee un Single Board-Computer se encuentran dentro de los parámetros de tamaño, costo, consumo, constitución y especificación:

- Tienen un tamaño muy reducido, alrededor de 90 mm de alto por 60 mm de ancho.
- El precio de la mayoría de los dispositivos ronda los 50\$.
- El consumo es moderado. Tomando por ejemplo una fuente de alimentación de un ordenador de sobremesa standard de 500 W, una Raspberry Pi consume 3 W, es decir, 167 veces menos.
- Disponen de periféricos y módulos para ampliar sus utilidades.
- No son dispositivos modulares, es decir, no podemos sustituir la tarjeta gráfica, procesador, memoria, etc., por una de diferentes características en caso sea necesario.
- Sus especificaciones son inferiores a las de un ordenador de sobremesa o portátil.
- Apenas se calientan, por lo tanto, pueden prescindir de disipadores minimizando así el ruido.
- Disponen de entradas/salidas para controlar otros dispositivos.

1.8 Análisis entre microcontroladores y Single Board Computer

Una forma de entender las diferencias que existen entre los microcontroladores y las placas SBC se las puede observar dentro de la Tabla 3, en donde se denota ciertas características que tienen en cuanto a determinados aspectos técnicos.

Tabla 3. Comparativa entre SBC vs Microcontrolador

Aspectos	Microprocesadores	Microcontroladores
CPU	El microprocesador tiene mucha más potencia de cálculo, por lo cual solamente realiza sus	Es una de sus partes principales, la cual se

Aspectos	Microprocesadores	Microcontroladores
	funciones con los que tiene (datos) y su algoritmo o programa establecida.	encarga de dirigir sus operaciones.
Memorias RAM y ROM	Son dispositivos externos que lo complementan para su óptimo funcionamiento.	Las incluye en un solo circuito integrado.
Velocidad de operaciones	Rápida.	Lenta en comparación con la de un microprocesador.
Tamaño	La configuración mínima básica de un microprocesador está constituida por un microprocesador, una memoria RAM, una memoria ROM, un decodificar de direcciones, lo cual lo convierte en un circuito bastante engorroso.	El microcontrolador incluye todos estos elementos en un solo circuito integrado por lo que implica una gran ventaja en varios factores, como, por ejemplo, la disminución en el tamaño del circuito impreso por la reducción de los circuitos externos.
Costo	Para el Microprocesador, el costo es muy alto en la actualidad.	El costo para un sistema basado en microcontrolador es mucho menor.
Inferencias	Son más susceptibles a la interferencia electromagnética debido a su tamaño y a su cableado externo que lo hace más propenso al ruido.	El alto nivel de integración reduce los niveles de interferencia electromagnética.
Tiempo de desarrollo	El tiempo de desarrollo de un microprocesador es lento.	Por el contrario, el de un microcontrolador es rápido.

Fuente: *(Aprendiendo Arduino, 2015)*

Previamente estudiado dichos componentes por separado se puede llegar a reconocer algunas diferencias, de acuerdo con su funcionabilidad, especificaciones o características tanto internas como externas. Pero primordialmente dentro de estas destaca en la forma de programación y alcance, es decir que el SBC se encarga de realizar acciones o procesos complicados a detalle, es decir supervisión e intervención de los datos almacenados, mientras que los microcontroladores se encargan en cumplir

actividades sencillas o que no necesitan de un mayor proceso, es decir recolección de datos.

1.9 Internet de las Cosas

El Internet de las Cosas es la descripción o interpretación de un escenario en el cual la mayoría de las cosas, dispositivos y equipos se encuentran conectados; manteniendo un tipo de comunicación. Estos pueden intercambiar, agregar y procesar información sobre su entorno físico para proporcionar un servicio adicional (Barrio, 2018), para que se pueda cumplir todas sus funcionalidades es necesario que se base de algunos parámetros tales como la derivación de sus capas, protocolos, estándares y tecnologías de comunicación.

1.9.1 Características

(CEPYMEnews, 2018) menciona que las características principales del Internet de las Cosas son las siguientes:

- Conjunto de dispositivos y sensores relacionados entre sí que se encargan de medir, recopilar y enviar datos a un servidor o nube, con el propósito de recibir una indicación simultánea proveniente de la nube de acuerdo con los datos analizados, los dispositivos realicen una determinada acción.
- Sistema electrónico de pequeño tamaño con la característica de tener un procesador, sensores que le permite medir el entorno, actuadores que le permiten realizar determinadas acciones en respuesta a los datos recibidos y módulos de comunicación para enviar las ordenes o acciones deseadas.

1.9.2 Arquitectura IoT

La arquitectura es la simple descripción de cómo se encuentra estructurado la aplicación IoT describiendo las capas que la conforman. No existe un estándar para su elaboración, por lo que este puede ir variando según las necesidades que se presenten o el nivel de solución que se desea alcanzar. (García L. , 2020)

Por lo que se puede encontrar un sin número de arquitecturas, pero las más relevantes se las puede observar mediante la Figura 9, la cual describe la de tres capas, de cinco capas y la niebla, debido a su constitución y nivel de solución IoT.

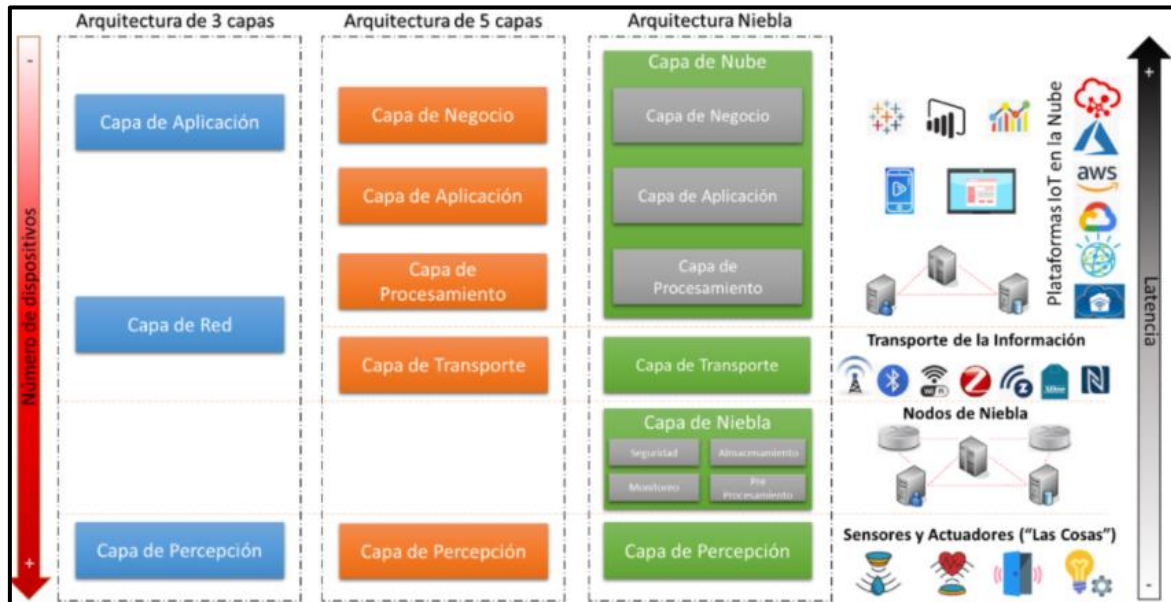


Figura 9. Arquitecturas IoT

Fuente: (García L. , 2020)

- **Tres capas.** – considerada la más simple y básica, pero caracterizada por el enfoque técnico y centralizado que tiene con respecto a los elementos en la red IoT.
- **Cinco capas.** – basada en la de tres capas, pero con la particularidad que tiene agregado capacidades de procesamiento en la nube o un servidor central, con el fin de profundizar y describir de una mejor forma los componentes IoT.
- **Niebla.** – enfocada en que las acciones de procesamiento y monitoreo se encuentren más cerca de la capa de percepción, con el fin de mejorar en la toma de decisiones por parte de los dispositivos que conforman dicha red IoT.

1.9.3 Capas básicas

(T-systems, 2018) menciona que las capas más básicas del Internet de las Cosas son tres, de las cuales son, capa de percepción, capa de red y por último la capa de

aplicación. En la Figura 10 se puede observar de forma jerárquica la estructura necesaria para cumplir las necesidades y funcionalidades que tiene la tecnología IoT.

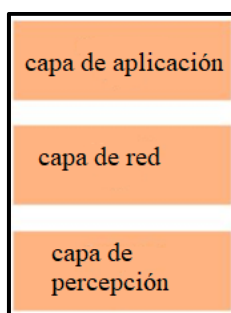


Figura 10. Capas básicas del Internet de las Cosas

Fuente: (T-systems, 2018)

- **Percepción.** - El cual se encarga del medio físico, de los dispositivos y de la adquisición de datos del entorno.
- **Red.** - Conexión del dispositivo a otros de estructura inteligente, o red con el propósito de transmitir los datos y realizar un cierto grado de procesamiento.
- **Aplicación.** - Es en la que se enmarcan las aplicaciones del usuario, desde las domésticas hasta las logísticas o industriales que hagan uso de los dispositivos conectados.

1.9.4 Tecnologías de comunicación

En este campo se encuentra una gran variedad, pero las más destacables e importantes de mencionar son Ethernet, WiFi y Bluetooth:

- a) Ethernet. – También conocido como IEEE 802.3, el cual se refiere al tipo de conectividad a una red local (LAN). (UTPL, 2018)

Como se había descrito con anterioridad el Ethernet es una tecnología de red de área local que utiliza un grupo de reglas para la determinación del tipo de respuesta de los dispositivos de red (CSMA/CD) entre estaciones con diversos tipos de cables. (Centro de Innovación y soluciones Empresariales y Tecnológicos , 2021).

Las características principales que tiene la tecnología Ethernet son:

- No da problemas excepto si su terminación es incorrecta o el cable se corta.
- Se conecta utilizando una topología de bus en la que el cable está terminado en ambos extremos.
- No precisa de una fuente de alimentación propia.
- Utiliza diversos protocolos de comunicación.

En la Figura 11 se explica acerca de los conceptos que abarca el tema Ethernet en algunos aspectos o tipos tecnológicos.

Tecnología/término	Explicación
LAN (Local Area Network)	Red informática que vincula a varios sistemas entre sí a nivel local
Switching (conmutación)	La conmutación regula la ruta de un paquete de datos en la red; la entrada y salida de paquetes se define según el emisor y el receptor
Ethernet Flow Control	La transmisión de datos en Ethernet se detiene temporalmente; el objetivo es lograr una menor pérdida de datos y una mayor eficiencia
CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)	Proceso de acceso a los medios que determina qué sistemas en una red pueden acceder a un medio de transmisión; evita colisiones
Marco de Ethernet/marco de datos	Unidad de protocolo que contiene información importante para la transmisión de datos como, por ejemplo, la dirección MAC
Dirección MAC/dirección del dispositivo	Dirección única asignada a un dispositivo en la red informática
PoE (Power over Ethernet)	El cable de Ethernet puede proveer de alimentación eléctrica al dispositivo de destino
Cable coaxial	Cable bipolar de hasta 10 Mbit/s (tecnología anticuada)
Cable de par trenzado	Cable con pares de núcleos trenzados, permite PoE hasta 10 Gbit/s
Cable de fibra óptica	Fibra óptica, alcance elevado, posibilidad de lograr enormes tasas de transmisión (en teoría hasta aprox. 70 terabit/s)
Modo de semidúplex	La comunicación solo es posible alternativamente en una única dirección (tecnología anticuada)
Modo de dúplex completo	La comunicación es posible simultáneamente en ambas direcciones

Figura 11. Tecnología y conceptos Ethernet

Fuente: (IONOS, 2018)

El Ethernet no es nada más que una tecnología que permite que los dispositivos de redes de datos se encuentren conectados y produzcan una comunicación entre sí a través de cable. La agrupación de estas induce a la creación de una red local para que puedan intercambiar los paquetes de datos. (IONOS, 2018)

- b) Bluetooth. – utilizado para conexiones a corta distancia que posibilita la transmisión de voz, datos y audio de forma inalámbrica en la banda de los 2.4 GHz. (Martín, 2015).
- c) (Regino, 2014) comenta que la tecnología de comunicación inalámbrica “es aquella en la que los extremos de la comunicación no tienen una conexión física, sino que hace uso de la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio.”

(Martín, 2015) menciona que “el WiFi o también conocido por IEEE 802.11 (WLAN, Wireless Local Area Network) es el protocolo más aceptado para las comunicaciones inalámbricas, aunque por lo general requiere más energía que Bluetooth o cualquiera de los protocolos basados en la familia 802.15.4 (ZigBee)”.

Las ventajas que presenta se encuentra la gran capacidad para transferencia de datos, lo cual permite enviar video, audio y otros archivos de gran tamaño. (Sabas, s.f.)

(Martín, 2015) describe que el ZigBee “es un protocolo que se base en el estándar IEEE 802.15.4, el cual su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.”

ZigBee ha sido desarrollado específicamente para proporcionar consumos de energía bajos, fácil integración, velocidades de transmisión de hasta 250 kbps y con un rango de cobertura de 10 a 75 metros.

La capa de red ZigBee permite crear estructuras en forma de estrella, árbol o la red en malla, la cuál es la más usada ya que permite que en un momento dado si un dispositivo del camino falla y se cae pueda seguir la comunicación entre los demás, debido a que se rehacen todos los caminos.

Una comparación entre las distintas tecnologías inalámbricas, de acuerdo con ciertos parámetros técnicos, eléctricos y tecnológicos para presenciar e identificar las debilidades y fortalezas que tienen cada una. (Ver Figura 12)

	ZigBee (802.15.4)	Bluetooth Low Energy	WiFi (802.11)
Velocidad de datos	250Kb/s	1Mb/s	+1Mb/s
Rango	10-20m	5-15m	1-100m
Potencia	Baja	Baja	Media
Vida de la batería	Año	Semana	Día
Banda de frecuencias	2.4GHz, 869MHz, 915MHz	2.4GHz	2.4GHz
Tiempo de conexión	30ms - 1s	Hasta 10s	Hasta 3s
Aplicaciones	Electrodomésticos Control de la luces Seguridad del hogar	Salud/Monitorización Relojes Teclados/ratones	Audio digital Voz/Video Networking

Figura 12. Comparativa entre las distintas tecnologías inalámbricas

Fuente: (Martín, 2015)

De la comparativa entre las distintas tecnologías de comunicación, se pudo observar que la tecnología WiFi es la más destacable debido a una gran velocidad de transmisión de datos, mayor rango, pero con la excepción de que tiene la falencia de un alto consumo, lo cual no es una fuerte razón para su utilización.

1.9.5 Estándares de conectividad WiFi.

Dentro de los estándares más comunes y utilizados para WLANS o WiFi para la tecnología del Internet de las Cosas se encuentran los derivados del estándar IEEE 802.11, (Ros, 2019) menciona que “El IEEE 802.11 es el estándar que sirve de base en la comunicación de las redes inalámbricas”.

Por esta razón aparecieron muchos estándares, de los cuales se encuentran definidos dentro del estándar original que permiten diferentes velocidades de operación, tales como 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ah, los cuales son cómodos y aceptables dentro de los parámetros del Internet de las Cosas. (Tabbane, 2018). La Figura 13 muestra los diferentes tipos de estándares WiFi y sus diferencias en ciertos aspectos técnicos-tecnológicos.

Standard	Frequency bands	Throughput	Range
WiFi a (802.11a)	5 GHz	54 Mbit/s	10 m
WiFi B (802.11b)	2.4 GHz	11 Mbit/s	140 m
WiFi G (802.11g)	2.4 GHz	54 Mbit/s	140 m
WiFi N (802.11n)	2.4 GHz / 5 GHz	450 Mbit/s	250 m
IEEE 802.11ah	900 MHz	8 Mbit/s	100 M

Figura 13. Estándares WiFi

Fuente: (Tabbane, 2018)

a) IEEE 802.11a

Desarrollado sobre la base del estándar IEEE 802.11, el cual funciona en la banda de 5 GHz con capacidad de alcance de velocidad máxima de 54 Mbps. (Ros, 2019)

b) IEEE 802.11b

Fue el primer estándar desarrollado a finales de los años noventa y se identificó con la letra b. En teoría con el estándar WiFi b se pueden transferir hasta 11 Mbps en la banda de 2,4 GHz. (Ros, 2019)

c) IEEE 802.11g

Evolución del anterior, utiliza la misma banda, pero con una velocidad igual a la del IEEE 802.11a, es decir a 54 Mbps. Es el estándar más utilizado por los usuarios domésticos ya que su aparición en el mercado coincidió con la mayor etapa de expansión de este tipo de tecnología, por eso hay muchísimos aparatos que tienen este estándar en los hogares. (Estándares WiFi, 2020)

d) IEEE 802.11n

Utiliza simultáneamente las bandas de frecuencia de 2,4 GHz y la de 5 GHz y es compatible con todos los estándares anteriores. Es el estándar ofrecido en la actualidad por la mayoría de los fabricantes. Tiene una velocidad de 300 Mbps. (Estándares WiFi, 2020)

e) IEEE 802.11ah

Conocido también como WiFi Halow, es la nueva denominación y uno de los más idóneos para dispositivos IoT, debido a que este tipo de estándar mejora el WiFi al trabajar en un espectro por debajo de 1 GHz con el cual se puede obtener un mayor alcance y conectividad sin hacer uso de un mayor consumo de energía. (Lorenzo, 2020)

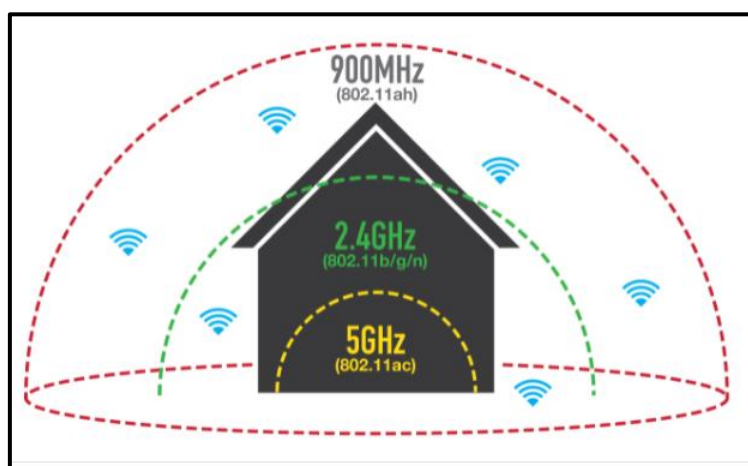


Figura 14. Cobertura de los Estándares WiFi

Fuente: (Tecnocompras, 2017)

De acuerdo con la Figura 14 se puede observar claramente que el WiFi Halow es superior e ideal para aplicaciones IoT que necesitan cubrir mayor campo de cobertura para los dispositivos dentro de los hogares, debido a que tiene un alcance de la señal y penetración mucho mayor que los otros tipos de estándares con la particularidad de ser de bajo consumo.

Dentro de los estándares descritos con anterioridad se adjuntan dos tipos de estándares que últimamente han ido ganando reconocimiento y evolución; estos son el 802.11ac y 802.11ax, que básicamente se obtuvieron a partir del 802.11n, pero con la mejora de ciertas características.

f) IEEE 802.11ac

Estándar mejorado en base del 802.11n con la capacidad de utilizar la tecnología Multi User MIMO; la cual se encarga de permitir la asignación de flujos espaciales a más de un dispositivo al mismo tiempo., logrando de cierta manera otorgar una mayor velocidad de transferencia (Delta eu, 2021). Para un mejor entendimiento se puede

observar la Figura 15 en donde claramente se puede identificar los cambios que sufrió el 802.11ac a comparación del 802.11n para mejorar sus características.

IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac
hasta 4 flujos espaciales	hasta 8 flujos espaciales
3 flujos - máxima tasa de bits 450 Mbit/s	3 flujos - máxima tasa de bits 1300 Mbit/s
canales de 20 y 40 MHz	canales de 20, 40, 80, e incluso 160 MHz
modulación por flujo 64-QAM	modulación por flujo 256-QAM
MIMO	Multi-user MIMO
	agregación de frames extendida
	conformación de haces (beamforming)

Figura 15. Comparativa de capacidades de los estándares 802.11n y 802.11ac

Fuente: (Delta eu, 2021)

Como resultado se puede denotar que el estándar 802.11ac proporciona un mejor rendimiento, debido a que proporciona tasas de bits más altas y principalmente la opción de conectar más dispositivos a una distancia más alejada del enrutador.

g) IEEE 802.11ax

Conocido también recientemente como WiFi 6, es el nuevo estándar internacional para las redes WiFi, debido a que tiene la capacidad de aumento de rendimiento de hasta cuatro veces a comparación del 802.11ac; puede hacer uso de dos bandas de 2.4 GHz como la de 5 GHz de forma simultánea para aumentar su velocidad sin importar el número de dispositivos conectados que requieran transmitir información.

Con respecto al tema de IoT también se encuentra acorde y mejorado debido a que tiene un modo de funcionamiento para dispositivos de bajo consumo y bajo ancho de banda con la particularidad de que puede separar dichos dispositivos a un canal predeterminado, y así poder tener una red de mayor rendimiento y una mejor experiencia de usuario. (aruba, 2021)

1.9.6 Protocolos de comunicación.

Los dispositivos IoT tienen la característica de tener una comunicación mediante protocolos de IoT, estos protocolos se encargan de garantizar que el dispositivo o sensor lea y tenga la factibilidad de comprender la información enviada por otro que se

encuentra distante. De esta forma es recomendable hacer uso del protocolo más acorde a la situación y funcionalidad deseada.

El tipo de protocolo de IoT que se use depende del nivel de arquitectura del sistema en el cual se van a mover los datos o información deseada, es decir la comunicación que tendrá, ya sea dispositivo a dispositivo, de dispositivo a puerta de enlace, de puerta de enlace a datos, de puerta de enlace a la nube, dicho esto los protocolos se clasifican de acuerdo con niveles, tales como nivel de aplicación, nivel de transporte, nivel de red, nivel de vinculo de datos, nivel físico. (Azure, s.f.)

a) Nivel de aplicación. - Actúa como interfaz entre el usuario y el dispositivo

- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)

Nivel de software que crea interoperabilidad entre el middleware de mensajería. Ayuda a que una gran variedad de aplicaciones y sistemas funcionen juntos, lo que permite crear una mensajería normalizada a escala industrial.

- Protocolo de aplicación restringida (CoAP)

Protocolo de red y ancho de banda restringidos, diseñado para los dispositivos con capacidad limitada para que se puedan conectar y realizar una comunicación entre máquinas.

- Servicio de distribución de datos (DDS)

Protocolo de comunicación punto a punto versátil que hace de todo, desde ejecutar pequeños dispositivos hasta conectar redes de alto rendimiento. DDS optimiza la implementación, aumenta la confiabilidad y reduce la complejidad.

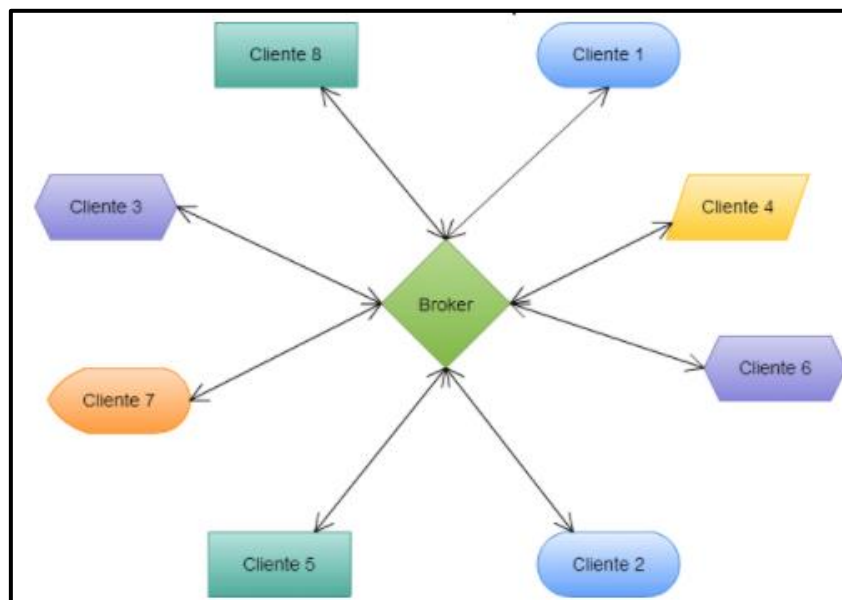
- Message Queue Telemetry Transport (MQTT)

Protocolo de mensajería diseñado para la comunicación ligera entre equipos que se usa principalmente para las conexiones de poco ancho de banda con ubicaciones remotas. MQTT utiliza un patrón de publicación-suscripción y es ideal para dispositivos pequeños que no necesiten mayores requerimientos.

Este tipo de protocolo mantiene un tipo de comunicación M2M (máquina a máquina), el cual es ideal para el Internet de las Cosas debido a que este se encuentra enfocado en la comunicación de sensores, porque estos no tienen un requerimiento en recursos de consumo de ancho de banda. Su arquitectura es de tipo estrella, es decir que tiene la presencia de un centro que hace de servidor con funciones de gestión y transmisión ya sea de datos o información. (Yébenes, 2015)

Su comunicación se la puede realizar ya sea de un dispositivo a otro, o de un dispositivo hacia muchos. Para una mejor comprensión acerca de su comunicación se puede observar la Figura 16.

Figura 16. Comunicación MQTT



Fuente: (Yébenes, 2015)

b) Nivel de transporte. - Habilita y protege la comunicación de los datos a medida que viajan entre niveles.

- Protocolo de control de transmisión (TCP)

Protocolo dominante en la mayor parte de la conectividad con Internet. Ofrece comunicación entre hosts, para lo que divide grandes conjuntos de datos en paquetes individuales que reenvía y vuelve a ensamblar según sea necesario.

- Protocolo de datagramas de usuario (UDP)

Encargado de la comunicación entre procesos, el cual se ejecuta mediante IP. UDP mejora la velocidad de transferencia de datos a través de TCP y es ideal para las aplicaciones que requieren transmisiones de datos sin pérdida.

c) Nivel de red. - Permite la comunicación entre los dispositivos individuales y el enrutador.

- 6LoWPAN. - versión de IPv6 de bajo consumo que reduce los tiempos de transmisión.
- IPv6. - esta actualización reciente de IP dirige el tráfico a través de Internet e identifica y localiza dispositivos en la red.

d) Nivel de vínculo de datos. - Transfiere los datos dentro de la arquitectura del sistema e identifica y corrige los errores que encuentra en el nivel físico.

- IEEE 802.15.4. - estándar de radio para una conexión inalámbrica de bajo consumo.
- LPWAN. - este tipo de red permite la comunicación en un radio mínimo de 500 metros.

e) Nivel físico. - Establece un canal de comunicación que permite que los dispositivos se conecten dentro de un entorno específico, es decir haciendo uso de las tecnologías de comunicación conocidas.

1.10 Parámetros y criterios de selección considerados

Dentro de los parámetros que se va a considerar para la elaboración del diseño electrónico y los términos de selección con respecto a los sensores y dispositivos, son de tipo base para tener una idealización cercana a lo que se quiere obtener como resultado final. Entre los aspectos para el sensor de corriente se tiene considerado la sensibilidad, exactitud y porcentaje de error, método de medición, funcionamiento, rango de medición, costo, tipo de señal de salida y tiempo de respuesta.

En cuanto al censado del voltaje se tiene considerado que el divisor de tensión conste con un voltaje de salida no alto para el debido acondicionamiento de la señal. Con respecto al dispositivo encargado del procesamiento de la información o adquisición de las señales como el microcontrolador se debe tener ciertos parámetros a considerar tales como:

- Memoria.
- Velocidad de procesamiento.
- Entradas/salidas digitales y analógicas.
- Costo.
- Fuente de alimentación.

En lo que concierne al Internet de las Cosas se tiene plasmado hacer uso de ciertos parámetros tales como el estándar de conectividad IEEE 802.11 o conocido comúnmente como tecnología WiFi, protocolo de comunicación MQTT para permitir un mejor control, manipulación y acceso de la información proveniente de los dispositivos eléctricos/electrónicos conectados y así facilitar la interacción entre estos.

Por lo tanto, en el capítulo se pudo deducir las pautas necesarias en la comprensión y entendimiento de las estructuras para el diseño de un medidor inteligente con un sistema de medición y comunicación IoT, por el cual se da paso al siguiente capítulo que tratará acerca del diseño esquemático y electrónico para la obtención de un buen funcionamiento del prototipo, en el cual no presente dificultad alguna durante el proceso de medición.

CAPÍTULO II

Diseño del prototipo de medición de consumo eléctrico con aplicación del Internet de las Cosas

El presente capítulo contiene la información técnica necesaria del diseño electrónico y esquemático para la construcción del prototipo de medición de consumo eléctrico, así como la selección en forma técnica de los elementos y softwares utilizados que formarán parte tanto del medidor físico a implementarse como el servidor local y su base de datos. Todo esto de manera estructurada para obtener un funcionamiento idóneo del prototipo sin la presencia de fallos o interrupciones durante el proceso.

2.1 Metodología

Esta metodología es encaminada a la descripción del procedimiento que se utilizó para el planteamiento y de medición del consumo de energía y la aplicación de la tecnología IoT, el cual por medio de cuatro etapas se logró dicho objetivo.

Modelo en Espiral

Enfocada al planteamiento y diseño del prototipo de medición de consumo de energía eléctrica con aplicación IoT de forma cíclica e interactiva; repitiendo tantas veces sea necesario la comprobación del funcionamiento mediante pruebas hasta lograr el alcance detallado.

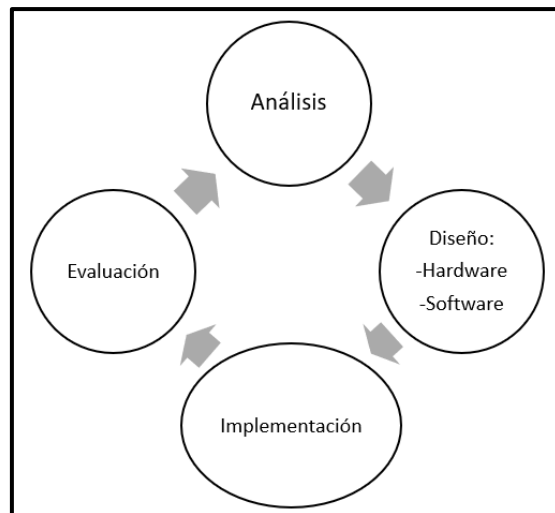


Figura 17. Modelo en Espiral

Fuente: Modificado de (ASPgems, 2019)

Como se pudo observar en la Figura 17 el modelo en Espiral se basa de cuatro etapas, pero para el cumplimiento del objetivo de este capítulo se hizo uso de dos etapas, los cuales son el análisis y diseño.

1. Análisis: Investigación teórica y bibliográfica de los diferentes tipos de tecnologías que se pueden aplicar al prototipo, como también los componentes que pueden integrar el monitoreo y visualización de los parámetros eléctricos que proporcionan los dispositivos eléctricos/electrónicos, además de su control (Encendido/Apagado).
2. Diseño: Seleccionar las tecnologías, componentes e instrumentos de acuerdo con los parámetros y criterios de selección impuestos en el capítulo 1, con la finalidad de obtener el diseño electrónico como esquemático del prototipo.

Método descriptivo

Enfocada a la descripción del comportamiento o estado de los parámetros eléctricos de corriente, voltaje, potencia, consumo; mediante la observación sistemática del prototipo y catalogando la información proporcionada para que esta sea usada y replicada por otros.

Método experimental

El objetivo de este método es utilizar los sensores que adquirirán la información de corriente como de voltaje consumidos por los dispositivos eléctricos/electrónicos, para procesarlos con el microcontrolador y lograr obtener los parámetros eléctricos de potencia activa, consumo y factor de potencia, y consecuentemente su visualización a través de una pantalla, asimismo almacenar dicha información y visualizarla dentro de un servidor Web local con su respectiva base de datos.

2.2 Materiales

Dentro de los materiales a utilizar para el desarrollo del prototipo, se tiene previsto el manejo de componentes electrónicos (hardware), así como elementos de tipo software y ecuaciones de tipo matemático, los cuales facilitarán la solución y planteamiento del diseño y esquematización del prototipo, con el fin de obtener los resultados deseados.

Potencia y Energía

Para los cálculos respectivos se debe iniciar a partir de la Ec.1 en lo que se relaciona a la obtención de la potencia eléctrica, con el fin de poder aplicar dicha relación matemática para obtener la cantidad de energía que consume un aparato eléctrico.

Ec.1 Potencia en relación de voltaje y corriente

$$P = I \times V$$

Fuente: (Fowler, 1994)

- P: Potencia
- I: Corriente
- V: Voltaje

Para el cálculo de la energía consumida por un aparato eléctrico o electrónico se da uso de la Ec.4 encontrada a partir de la Ec.2 relacionada con otra forma de planteamiento de la potencia, en el que respecta al trabajo eléctrico en un determinado tiempo:

Ec.2 Potencia en relación entre trabajo eléctrico y tiempo

$$P = \frac{W}{t}$$

Fuente: (Hubscher H, Klaue J, Pfluger W, Appelt S, 1991)

- P: Potencia
- W: Trabajo Eléctrico
- t: Tiempo

Al despejar el trabajo (W) y relacionarla con la energía, se puede interpretar cuanta potencia es consumida en un periodo de tiempo, como se puede observar en la Ec.3

Ec.3 Despeje de la variable del trabajo eléctrico

$$W = P \times t$$

Fuente: (Hubscher H, Klaue J, Pfluger W, Appelt S, 1991)

Por último, para la ecuación de la energía únicamente se hace una relación o

reemplazo del trabajo (W) con la energía en la Ec.2, como se puede observar dicha situación en la Ec.4

Ec.4 Energía eléctrica

$$E = P \times t$$

Fuente: (Búa, 2014)

- E: Energía
- P: Potencia
- t: Tiempo

Divisor de Voltaje

Ec. 5 Divisor de voltaje

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Fuente: (Barrales R, Barrales V, Rodríguez M, Vázquez E, 2014)

- Vout: Voltaje de Salida
- Vin: Voltaje de Entrada
- R1: Resistencia 1
- R2: Resistencia 2

Filtro RC

Para el cálculo del filtro es necesario aplicar la Ec.6, en los cuales intervienen valores de frecuencia deseada, resistencia y condensador.

Ec.6 Filtro RC

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Fuente: (Paolis, 2014)

Con el fin de permitir el paso de una señal con una frecuencia en particular y encargado de suprimir o atenuar las que se encuentren fuera de esa frecuencia deseada.

2.2.1 Hardware del medidor

El medidor se compone a partir de un microcontrolador, sensores de corriente, sensores de voltaje, fuentes de alimentación, unidad de comunicación, unidad de procesamiento, dispositivo de visualización, dispositivos de control.

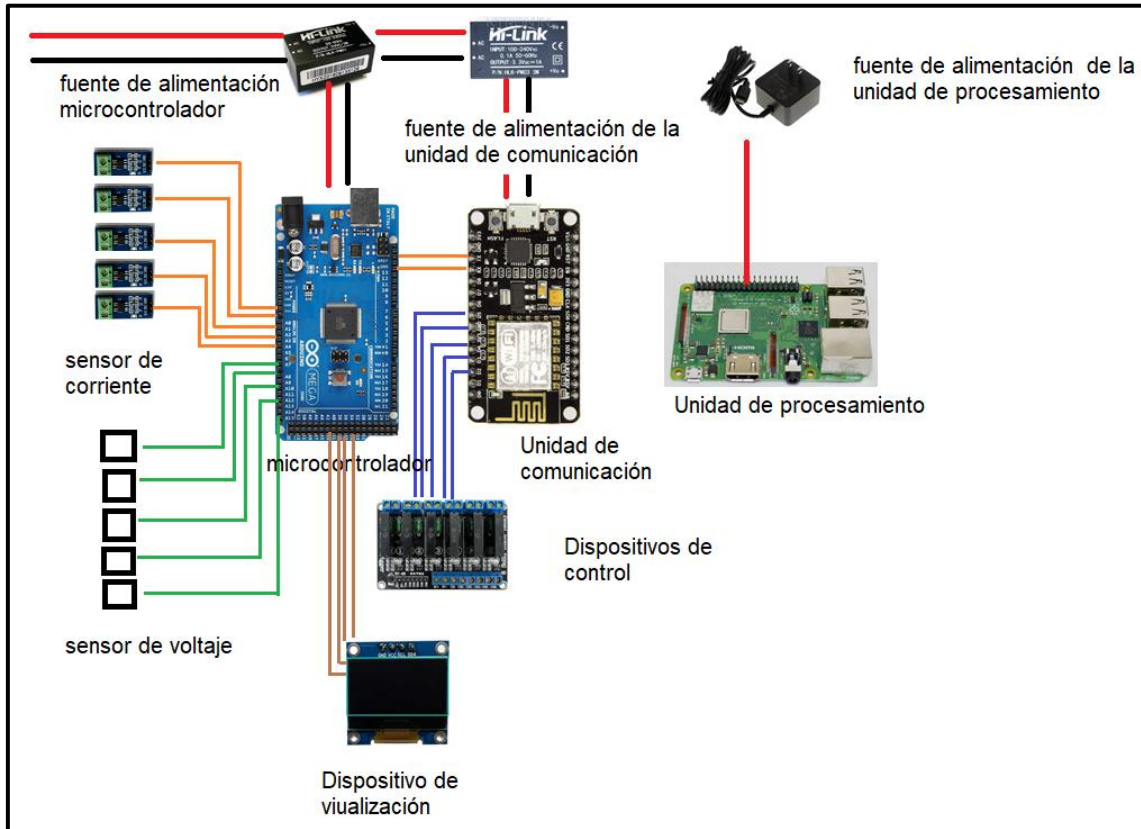


Figura 18. Esquema de Hardware del medidor

Fuente: Autor

En la Figura 18 se pudo observar los elementos que conformarán el prototipo de medición, así como su conexionado.

- **Sensor de Corriente**

De acuerdo con los parámetros y criterios de selección previamente establecidos se hará uso de sensores de efecto Hall, debido a que produce un voltaje de salida proporcional a la corriente, dentro de estos se encuentran los sensores Allegro y todos sus derivados en diferentes categorías dependiendo a la cantidad máxima de corriente que soportan, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación sensores de corriente ACS

	05B-T	20A-T	30A-T
Sensibilidad	185 mV/A	100 mV/A	66 mV/A
Rango optimizado Ip (A)	±5	±20	±30
Temperatura	-40 a 85	-40 a 85	-40 a 85
Voltaje de suministro	Min: 4.5 V Recomendado: 5 V Max: 5.5 V	Min: 4.5 V Recomendado: 5 V Max: 5.5 V	Min: 4.5 V Recomendado: 5 V Max: 5.5 V
Tiempo de subida	5 us	5 us	5 us
Ruido	21 mV	11 mV	7 mV
Error	±1.5%	±1.5%	±1.5%
Costo	\$4.99	\$7.00	\$7.00

Fuente: Modificado de (*Allegro, 2022*)

De acuerdo con la información previsualizada se eligió el sensor ACS712 de 30 A debido a ciertos parámetros como costo, presencia de ruido, rango de medición, pero lo que más destaca es su sensibilidad de 66 mV/A, y que su medición es bidireccional, el cuál es óptimo para el requerimiento del censado para no presentar un rango elevado de error durante las mediciones.

- **Sensor de voltaje**

En cuanto a su censado se lo realizará mediante un arreglo de divisor de voltaje, proporcionado por la ecuación matemática Ec. 5, debido a que con este método se puede reducir un voltaje a menor escala, además de proporcionar protección hacia los componentes de acuerdo con su sensibilidad y rango de alimentación. Dicha ecuación permite encontrar los valores de las resistencias R1 y R2 en base a un voltaje de entrada conocida.

- **Unidad de comunicación**

Los módulos WiFi más comunes y usados en proyectos electrónicos suelen ser el Esp8266-01, Esp32, Esp8266-12e, NodeMCU, debido a su facilidad de programación y accesibilidad en cuanto a su adquisición. Dichos módulos cuentan con ciertas características similares, pero con ciertas particularidades que los diferencian en cuanto a su aplicación, como se lo puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Módulos WiFi más usados

	Esp8266-01	Esp32	NodeMCU ESP8266
Protocolo WiFi	802.11 b/g/n (HT20)	802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)	802.11 b/g/n
Rango de frecuencia	2.4 G ~ 2.5 G (2400 M ~ 2483.5 M)	2.4 G ~ 2.5 G	2.4 GHz-2.5 GHz (2400 M-2483.5 M)
Valor promedio de la corriente de operación	80 mA	~80 mA (fuente superior a 500 mA)	80 mA
Voltaje de operación	3~3.6 V	5 V Entradas/salidas: 3.3 V	3.3 V Entradas/salidas: 3.3 V
Procesador CPU	Tensilica L106 de 32 bits	Tensilica Xtensa 32-bit LX6	Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)
Modo WiFi	Estación / SoftAP / SoftAP + estación	-----	WiFi Direct (P2P), soft-AP
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 °C ~ 125 °C	-40 °C ~ 125 °C	--40 °C ~ 125 °C
RAM	Instrucción: 64 KB Datos: 96 KB	520 KB, puede utilizar una memoria externa adicional de hasta 8 MB	Instrucción: 64 KB Datos: 96 KB
ROM	De inicio de 64 KB	448 KB	-----
Frecuencia de reloj	80 MHz (hasta 160 MHz)	160 MHz (hasta 240 MHz)	80 MHz/160 MHz
Número de pines analógicos	0	18	1
Número de pines E/S digitales	2	25	17
Costo	\$3.80	\$13	\$8

Fuente: Modificado de (Gonzalez, O, 2017), (AI-Thinker, 2022), (components101, 2020), (elosciloscopio, 2022)

Por lo tanto, al ver las diferencias que existen entre los módulos WiFi presentados en la Tabla 5 se llega a la conclusión de elegir el NodeMCU, debido a que incorpora características acordes a la aplicación IoT, el costo no es muy elevado y accesible, presencia de pines digitales y analógicos; aspectos que facilitarán la programación del prototipo sin complicación independientemente de su versión.

- **Unidad de procesamiento**

La unidad de procesamiento se refiere al encargado de recibir y almacenar la información proporcionada por el microcontrolador, el cual se lo realizará mediante el protocolo MQTT con el propósito de tener la presencia de un publicador-subscriptor para poder visualizar, almacenar y publicar cualquier otro tipo de información en base a un mensaje diferente. Para ello se presenta las características de estas unidades en la Tabla 6.

Tabla 6. Raspberry más interesantes

	Raspberry pi 4B	Raspberry pi 3B+	Raspberry pi Zero W	Raspberry pi Zero WH	Raspberry pi Zero
CPU	1.5-GHz, 4- core Broadcom BCM2711 (Cortex-A72)	1.4-GHz, 4- core Broadcom BCM2837B0 (Cortex-A53)	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF- S)	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF- S)	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF- S)
RAM	2/4/8 GB	1 GB	512 MB	512 MB	512 MB
Conectividad Inalámbrica	802.11ac / Bluetooth 5.0	802.11ac, Bluetooth 4.2, Ethernet	802.11n / Bluetooth 4.1	802.11n / Bluetooth 4.1	-----
Puerto E/S	2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0, 1 x Gigabit Ethernet, 2 x micro-HDMI	4 x USB 2.0, HDMI, 3.5 mm audio	1 x micro USB, 1 x mini HDMI	1 x micro USB, 1 x mini HDMI	1 x micro USB, 1 x mini HDMI
Costo	\$70/\$85/\$150	\$55	\$25	\$17.72	\$6.56

Fuente: (Rodríguez, 2020)

Para la selección se tuvo en consideración ciertos aspectos como costo, memoria, velocidad de procesamiento, puertos E/S. De los cuales se pudo elegir el Raspberry pi 4 de 4 GB, debido al bajo consumo y costo, gran velocidad de procesamiento, y con una

memoria de cómputo de 4096 MB, por lo que lo vuelve idóneo para que no exista problemas en cuanto al almacenamiento y manejo de la información recibida por parte del microcontrolador, además se agregó una tarjeta microSD clase 10 de 32 Gb para el sistema operativo y el almacenamiento de datos.

- **Fuente de alimentación del Microcontrolador**

El encargado de la alimentación para el microcontrolador es el módulo Hi-Link HLK-PM01, el cual permite la transformación de 110 – 240 V de corriente alterna a 5 V de corriente directa con una corriente aproximada de 1 A, en la Figura 19 se puede observar con detenimiento su constitución.



Figura 19. Fuente de Alimentación Hi-Link HLK-PM01

Fuente: (Mercado Libre, s.f.)

Esta fuente permite la alimentación directa al microcontrolador, al igual que a los actuadores de control ya sea para encendido o apagado de los distintos dispositivos eléctricos/electrónicos con el fin de que funcionen en su totalidad y pueda cumplir todas sus funciones establecidas.

- **Fuente de alimentación de la Unidad de comunicación**

El encargado de la alimentación para la unidad de comunicación es el módulo Hi-Link HLK-PM03 3 W, el cual permite la transformación de 110 – 240 V de corriente alterna a 3.3 V de corriente directa con una corriente aproximada de 1 A, (Ver Figura 20)



Figura 20. Módulo Hi-Link HLK-PM03

Fuente: (Mercado Libre, 2021)

Esta fuente va a permitir la alimentación directa a la unidad de comunicación para que este funcione en su totalidad y no exista una deficiencia de conexión WiFi entre el microcontrolador, la unidad de procesamiento y la base de datos.

- **Dispositivo de visualización**

El encargado de permitir la visualización de la información será una pantalla LCD debido a sus características y resolución, además de ser de fácil programación y accesibilidad, dentro de estos se encuentran una gran gama, pero los más llamativos serían el LCD Oled, LCD NEXTION y el comúnmente utilizado Display LCD 16 x 2, como se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Displays LCD

	LCD Oled	Display LCD 16 x 2	LCD NEXTION 3.5"
Resolución	128 x 64	2 líneas x 16 caracteres	480 x 320
Color de pantalla	azul	Variado	RGB 65k
Dimensión Pantalla	2.43 cm/0.96"	65 mm x 16 mm	73.44 mm x 48.96 mm
Fuente de alimentación	3.3 V – 5 VDC	5 V	5 - 7 V
Interfaz	I2C (nivel lógico 3.3 V)	Paralela, puede operar en modo de 8 bits o de 4 bits para ahorrar pines del microcontrolador.	Serie TTL de 4 pines
Controlador IC	SSD1306	LCD HD44780	-----
Temperatura de funcionamiento	-20 ° C a + 70 ° C	-20 ° C a + 70 ° C	-20 ° C a + 70 ° C
Tamaño	2.2 x 2.8 x 1.2 cm/0.87 x 1.1 x 0.47	80 x 36 x 12 mm	100.5 x 54.94 x 4.25 mm
Costo	\$6.50	\$5.50	\$50

Fuente: Modificado de (solectro, 2021), (Xiamen Amotec Display CO., LTD, 2008), (Nextion, 2022)

En base a la Tabla 7 se selecciona la pantalla LCD NEXTION con una relación de 7cm x 4cm debido a su alta gama de resoluciones disponibles y la funcionalidad HMI, para una mejor interacción y visualización de la información, por otra parte esta pantalla trabaja a 5V lo que lo hace ideal para el acoplamiento con el medidor; debido a la fuente de alimentación principal basada en 5 VDC.

- **Dispositivo de control**

Para este tipo de requerimiento se va a dar uso del dispositivo llamado relé cuya función es la de un interruptor que acciona un número de contactos para permitir la abertura o cerrado de un circuito.

Tabla 8. Relé SSR vs Relé electromecánico

	Relé de estado sólido SSR	Relé electromecánico
Ventajas	Menor tiempo de respuesta en el aspecto de los milisegundos. Mayor tiempo de vida debido a menor desgaste. No tiene componentes móviles por lo que no hace ruido. Funcionamiento mediante programación. Puede manejar grandes corrientes de carga. Menor tamaño.	Menor costo de producción. Baja tensión de contactos. No necesita disipador de calor. Puede poseer múltiples contactos de conmutación. Permite controlar altas tensiones (salida del sistema) con tensiones bajas en la entrada.
Desventajas	Pérdida de potencia en el circuito de salida. Sensible a transitorios. Necesita un disipador de calor. Alto costo de producción.	Poseen contactos y piezas móviles que se desgastan. Tiempo de conmutación largos. La conmutación de la señal crea rebotes.

Fuente: Modificado de (Wendt, 2017)

Luego del análisis entre un relé de estado sólido y el electromecánico, se optó por elegir un relé de estado sólido SSR, debido a que cuenta con un mejor tiempo de respuesta, mayor vida útil por no tener partes móviles, soporta corrientes altas de carga dependiendo de su estructura ya sea de tipo módulo o de potencia y lo más importante

a destacar es su funcionamiento programable, es decir no necesita de una electrónica secundaria programable.

- **Microcontrolador**

Dentro de los microcontroladores Arduino más utilizados en proyectos electrónicos, se pueden encontrar una gran variedad, pero lo más conocidos son: Arduino Uno R3, Arduino Mega 2560, Arduino Due, Arduino Ethernet, Arduino Yun, debido a su facilidad de programación, manipulación y accesibilidad.

Tabla 9. Tabla comparativa de los microcontroladores más usados

	Arduino Uno R3	Arduino Mega 2560 Rev. 3	Arduino Due	Arduino Ethernet	Arduino Yun
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega2560	AT91SAM3X8E	ATMega328	ATmega32U4
Voltaje	5 V	5 V	3.3 V	5 V	5 V
Voltaje de Suministro	Recomendado: 7-12 V Límite: 6-20 V	Recomendado: 7-12 V Límite: 6-20 V	Recomendado: 7-12 V Límite: 6-16 V	Plug Recomendado: 7-12 V Plug Límite: 6-20 V	5 V
Pines digitales (I/O)	14 (4 para salida PWM)	54 (15 para salida PWM)	54 (12 para salida PWM)	14 (4 para salida PWM)	20
Pines digitales PWM (I/O)	6	6	-----	-----	7
Interruptores externos	-----	-----	-----	-----	12
Pines entrada analógica	6	16	12	6	-----
Pines salida analógica	-----	-----	2 (DAC)	1, 10-bit DAC	-----
Corriente DC por I/O Pin	20 mA	20 mA	130 mA (Total en todas las líneas de I/O)	40 mA	40 mA en pines I/O; 50 mA en 3.3 pin
Corriente DC para 3.3 V Pin	50 mA	50 mA	800 mA	50 mA	-----
Corriente DC para 5 V	-----	-----	800 mA	-----	-----
Memoria Flash	32 KB (5 KB utilizan el gestor de arranque)	256 KB (8 KB utilizan el gestor de arranque)	512 KB todos disponibles para las	32 KB (5 KB utilizan el gestor de arranque)	32 KB (4 KB utilizan el gestor de arranque)

	Arduino Uno R3	Arduino Mega 2560 Rev. 3	Arduino Due	Arduino Ethernet	Arduino Yun
			aplicaciones de usuario		
SRAM	2 KB	8 KB	96 KB (dos bancos: 64 KB y 32 KB)	2 KB	2.5 KB
EEPROM	1 KB	4 KB	-----	1 KB	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	16 MHz
Longitud	68.6 mm	101.52 mm	101,52 mm	68.6 mm	101.52 mm
Anchura	53.4 mm	53.3 mm	53,3 mm	53.3 mm	53.3 mm
Peso	25 g	37 g	36 g	28 g	37 g
Costo	\$7.24	\$17.99	\$34	\$32.99	\$56.40

Fuente: Modificado de (*Arduino D. , 2021*)

De acuerdo con la información visualizada en la Tabla 9 de los diferentes tipos de Arduino, se llegó a la conclusión de hacer uso del Arduino Mega 2560, debido a su bajo costo, accesible en su adquisición, trabaja con tensión de 5 a 12 voltios, dispone de varios pines analógicos y digitales, con un reloj de procesamiento de 16 MHz, cantidad suficiente para realizar los procesos y cálculos matemáticos que se van a requerir para la implementación del prototipo.

2.2.2 Software del medidor

El software consta de cuatro partes, la primera es el desarrollo del diseño del circuito eléctrico, seguido por la programación que tendrá el microcontrolador; el cual permitirá realizar las funciones de los componentes del medidor, almacenamiento de la información (IoT), después la parte de la publicación de la información y su consecuente almacenamiento en una base de datos, y por último el uso de una plataforma libre, en la cual se puede realizar las operaciones encargadas a la tecnología IoT.

- **EasyEDA**

Según (Max, 2018), menciona que “EasyEDA es una herramienta EDA gratuita, que no requiere instalación ya que se puede trabajar en línea. Permite un sencillo diseño de circuitos de PCB, simulación desde el navegador.” Las funcionalidades del EasyEDA son considerablemente útiles en cuanto al diseño de esquemas, diseño

de circuitos impresos, en la Figura 21 se puede observar la estructura del programa EasyEDA.

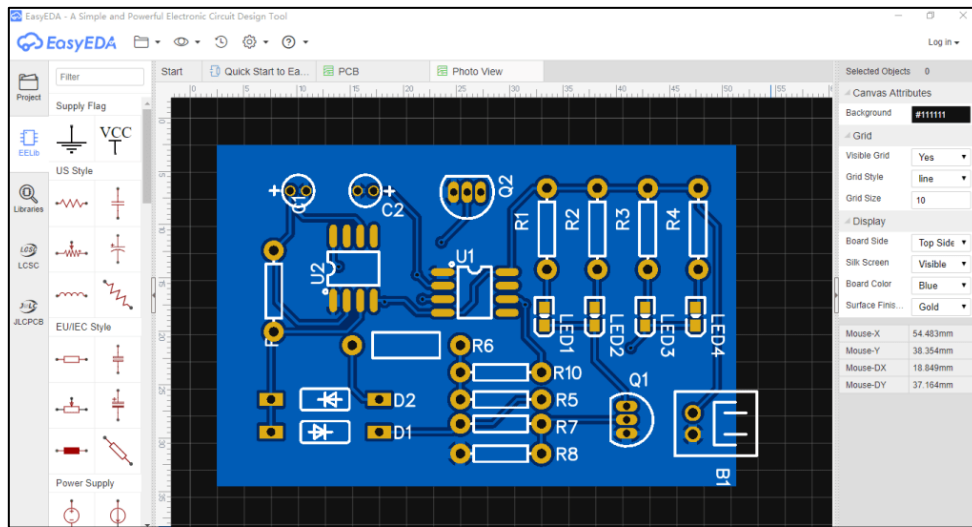


Figura 21. Interfaz EasyEDA
Fuente: (Max, 2018)

Se eligió este software gratuito debido a sus funcionalidades de diseño en cuanto a circuitos en PCB, simulación de circuitos creados a través de esquemas, sobre todo por su facilidad de manejo y comprensión, ya que su interfaz de usuario es agradable.

- **Arduino IDE**

El software IDE de Arduino es un entorno de programación de código abierto, el cual facilita la escritura y carga de cualquier tipo de código compatible con los diferentes tipos de placas Arduino (Arduino , 2021). En la Figura 22 se puede observar la interfaz del Arduino IDE.

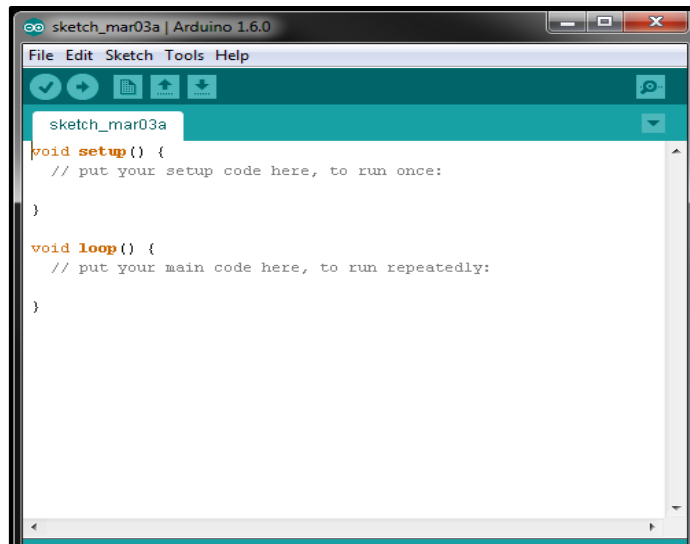


Figura 22. Interfaz Arduino IDE
Fuente: (Aprendiendo Arduino, 2021)

El IDE de Arduino fue seleccionado para la programación de la adquisición de datos de los diferentes parámetros eléctricos proporcionados por los dispositivos eléctricos/electrónicos, así como de la comunicación entre el microcontrolador, unidad de procesamiento y base de datos del servidor Web.

- **MOSQUITTO**

Según (Llamas, 2020) es un servidor de mensajes de código abierto bajo licencia, compatible con el protocolo MQTT encontrada en algunas versiones.



Figura 23. Plataforma MOSQUITTO
Fuente: (Llamas, 2020)

MOSQUITTO es uno de los brókeres MQTT más populares en cuanto a la aplicación de proyectos IoT, debido a que está programado en C y es compatible con ciertos sistemas operativos como Windows, Linux y Mac.

- **LAMP**

LAMP es la composición de cuatro componentes: Linux, Apache, MySQL y PHP, que consisten en un sistema de gestión de datos y construcción de servidores, lo que facilita a la creación y alojamiento de páginas web. (Guide, 2016)



Figura 24. Componentes LAMP
Fuente: (Sergio, 2015)

- **Ubidots**

Según (Klotz, 2017), menciona que “Ubidots es una plataforma que permite a las empresas crear aplicaciones IoT que convierten los datos de los sensores en conocimiento práctico y aplicable”, en la Figura 25 se puede observar como Ubidots interpreta los datos proporcionados por los sensores en información para almacenarlo, monitorearlo e interactuarlo en tiempo real.

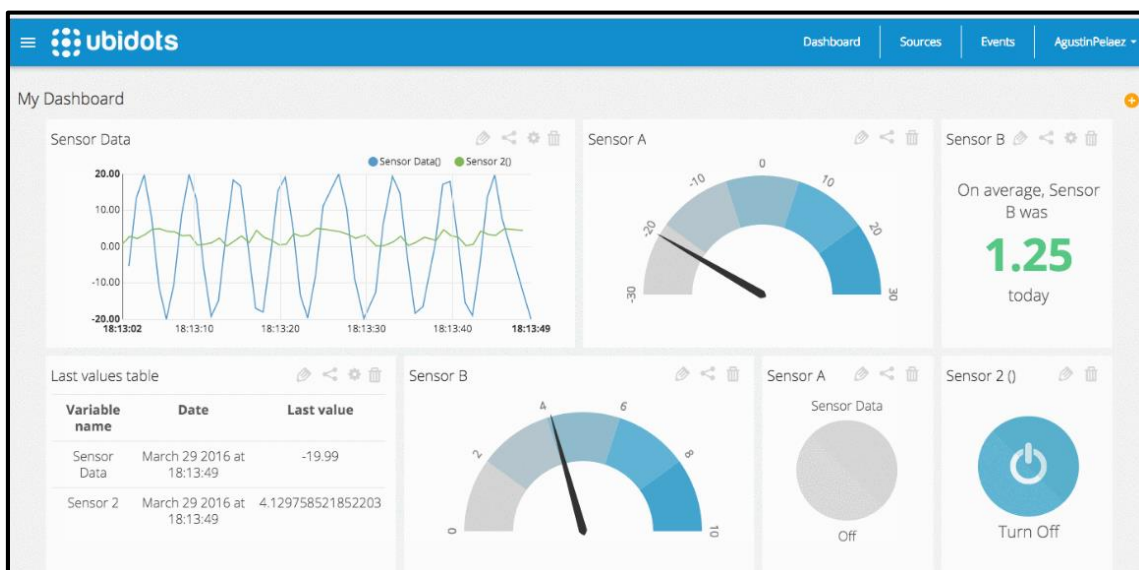


Figura 25. Interfaz Ubidots

Fuente: (Ubidots, s.f.)

Se eligió esta plataforma de código abierto debido a que permite ahorrar tiempo y dinero al momento de desarrollar aplicaciones para el monitoreo de cualquier tipo de variable, además de aportar con accesibilidad de dicha información en cualquier momento, lugar y tiempo. Otro aspecto de selección fue que aporta la facilidad de incluir gadgets de cualquier tipo para una mejor visualización de la información en cuanto a estética.

2.3 Resultados y discusión

En cuanto a los resultados obtenidos se encuentran el diseño del prototipo y la esquematización de su funcionamiento, los cuales se obtuvieron a través del estudio y análisis de toda la información recolectada mediante el marco teórico y la respectiva metodología para la selección de los materiales.

El funcionamiento del prototipo con sistema de medición se basa en cinco etapas, adquisición de los datos y envío, recepción y transmisión de datos, almacenamiento, visualización y por último el monitoreo y control. (Ver Figura 26)

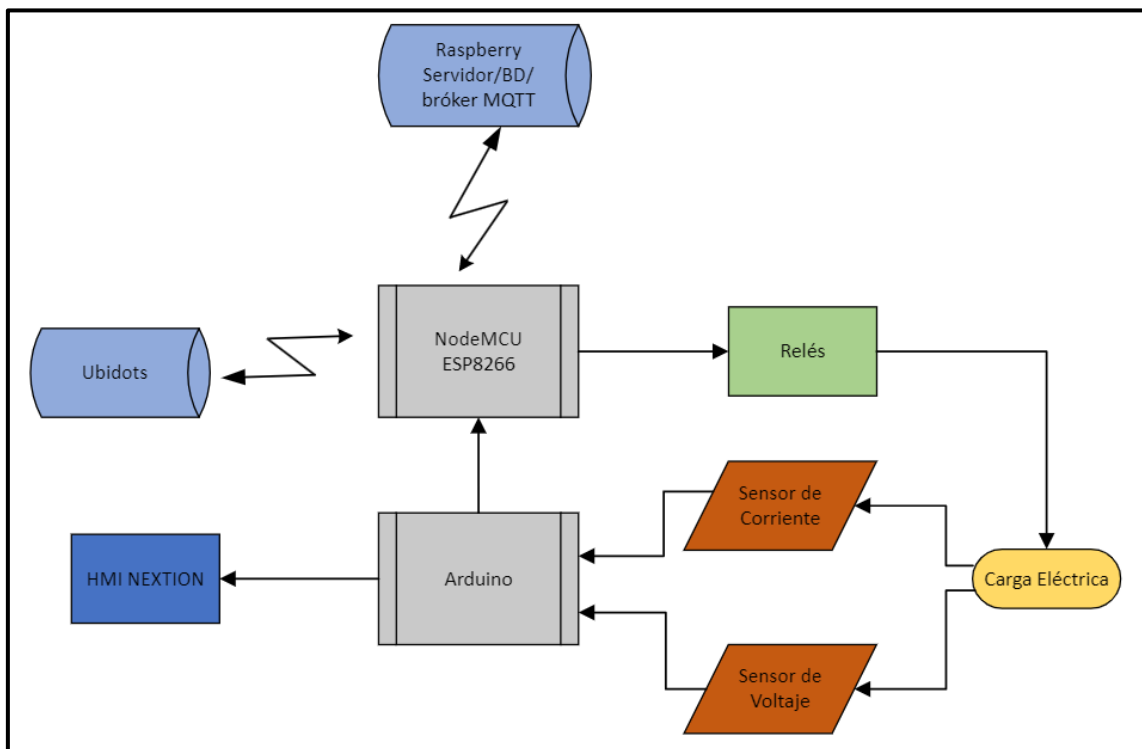


Figura 26. Proceso de funcionamiento del sistema de medición.

Fuente: Autor

Adquisición de datos y envío

En esta sección se puede decir que la medición del voltaje se lo realizó a través de un divisor de voltaje (Ver Figura 27), donde el objetivo fue obtener una señal proporcional al que se está midiendo, con ayuda de un transformador de 110/12 V para que disminuya el voltaje de la red monofásica y así pueda circular dicho voltaje alterno a través del divisor de voltaje conformado por R4 y R5.

Las resistencias R4 y R5 se obtuvieron a partir de la Ec.5, en donde se asumió un valor de R4 = 100kΩ para la obtención de la otra resistencia en este caso R5, Vin = 12V de la salida del transformador, y el Vout = 1.5V; este valor se debe por que al momento de acondicionar la señal no supere el voltaje límite de las entradas analógicas del Arduino, ya que se usará un divisor de punto medio con salida de 2.5V para que los valores negativos de la onda se encuentren dentro de los valores 0-5V.

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R4}{R4 + R5} \right)$$

$$R5 = V_{out} \left(\frac{R4}{V_{in} - V_{out}} \right)$$

$$R5 = 1.5V \left(\frac{100k\Omega}{12V - 1.5V} \right)$$

$$R5 = 14.28 \text{ k}\Omega$$

Como se pudo observar se obtuvo un resultado de R5 = 14.28 kΩ, el cual no es un valor comercial, por lo que se procedió a utilizar una resistencia similar en este caso de 15 kΩ para que no exista problemas en el funcionamiento. Al ser una onda sinusoidal contiene tanto valores positivos como negativos; por lo que es común observar perturbaciones como ruido, lo que indujo a incorporar un filtro RC para apaciguarlo mediante la aplicación de una frecuencia de corte, el cuál es deducido por parte del Arduino, en este caso el Arduino Mega maneja una frecuencia de muestreo de 76.9KHz, por lo que la frecuencia de corte del filtro tenía que ser de 38.46KHz. A partir de esto mediante el uso de la Ec.6 y asumiendo un valor conocido; en este caso el valor del condensador C1 = 100nF, se pudo reemplazar los valores en la ecuación y despejar R

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R6 = \frac{1}{2\pi f c C1}$$

$$R6 = \frac{1}{2\pi(38.46\text{KHz})(100\text{nF})}$$

$$R6 = 41.38\Omega$$

En donde el valor de la resistencia R6 fue de 41.38Ω , dicho valor no se encuentra comercialmente por lo que fue necesario hacer uso de una resistencia de 50Ω , la cual no es muy distante del valor calculado. Consecuentemente como se explicó con anterioridad para el acondicionamiento de la señal obtenida del divisor de voltaje R4 y R5 se usó un divisor de punto medio en este caso R7 y R8 con valores de $10\text{k}\Omega$, para que los valores negativos de la onda se encuentren en el lado positivo, con la ayuda de un condensador electrolítico $C2 = 10\mu\text{F}$ para filtrar las perturbaciones de dicho divisor; comúnmente dentro de estos circuitos acondicionadores de punto medio se pueden ver condensadores que van desde los valores de 1 hasta $10\mu\text{F}$.

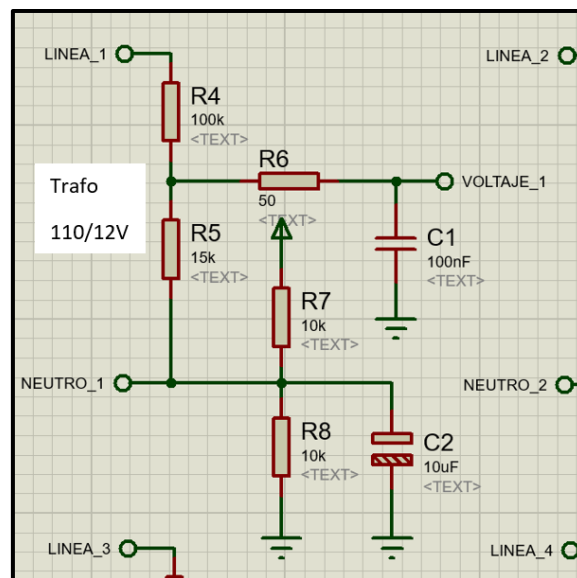


Figura 27. Circuito acondicionador de la señal de voltaje

Fuente: Autoría propia

Una vez diseñado el sensor de voltaje se pudo realizar el diseño electrónico final del prototipo (ver Figura 28), en donde se puede observar tanto los circuitos de adquisición de datos, tarjeta de desarrollo Arduino, unidad de comunicación NodeMCU, las fuentes de alimentación y los actuadores de control. Todo con la finalidad de cumplir todas las necesidades preestablecidas del prototipo de medición.

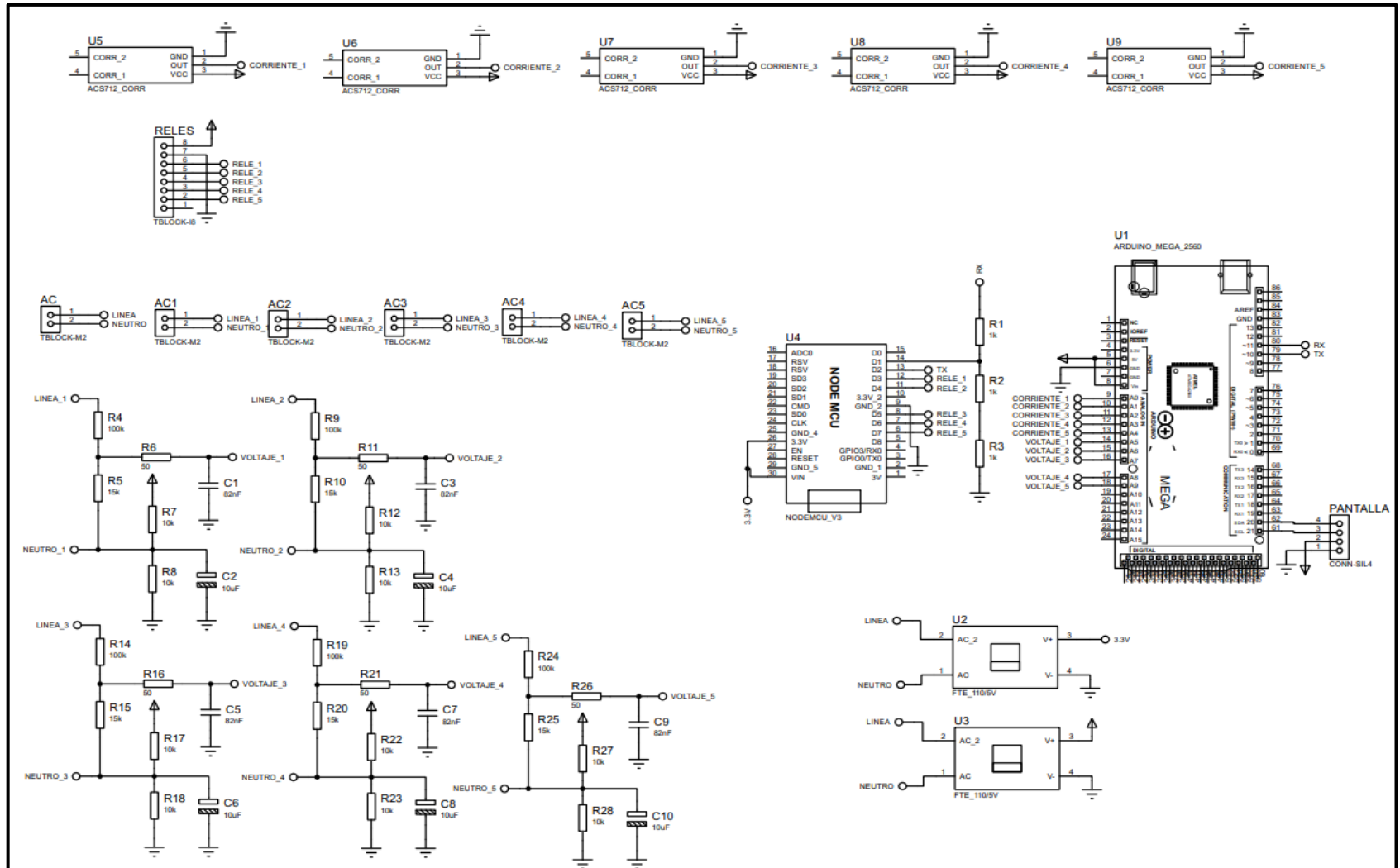


Figura 28. Diseño electrónico
Fuente: Autoría propia

Los pines de conexión de los diferentes componentes electrónicos se los detalla en la Tabla 10.

Tabla 10. Conexión de pines de los componentes electrónicos

Conexión al Arduino		
N.º	Componente	Pin
1	ACS 712-1	A0
2	ACS 712-2	A1
3	ACS 712-3	A2
4	ACS 712-4	A3
5	ACS 712-5	A4
6	Divisor de Voltaje 1	A5
7	Divisor de Voltaje 2	A6
8	Divisor de Voltaje 3	A7
9	Divisor de Voltaje 4	A8
10	Divisor de Voltaje 5	A9
11	Hi-link HLK-PMW01	5 V
12	VCC Nextion	5 V
13	GND Nextion	GND
14	Tx Nextion	Rx2
15	Rx Nextion	Tx2
Conexión al NodeMCU ESP8266		
N.º	Componente	Pin
16	Hi-link HLK-PMW03	Vin
17	Relé 1	D3
18	Relé 2	D4
19	Relé 3	D5
20	Relé 4	D6
21	Relé 5	D7
22	GND	GND
Conexión Serial Arduino-NodeMCU		
N.º	Pin Arduino	Pin NodeMCU
23	11	D1
24	10	D2

Fuente: Autoría propia

Para la visualización de cómo es el acabado final de la tarjeta electrónica se la puede observar en los anexos A y B, en donde se muestra el diseño en PCB y la tarjeta terminada.

Ya diseñado el circuito encargado de obtener los parámetros eléctricos, tanto de corriente como de voltaje se procedió a realizar sus flujogramas para obtener el censado RMS de dichos parámetros. Dichos procesos se los puede observar en la Figura 29 y Figura 30 respectivamente.

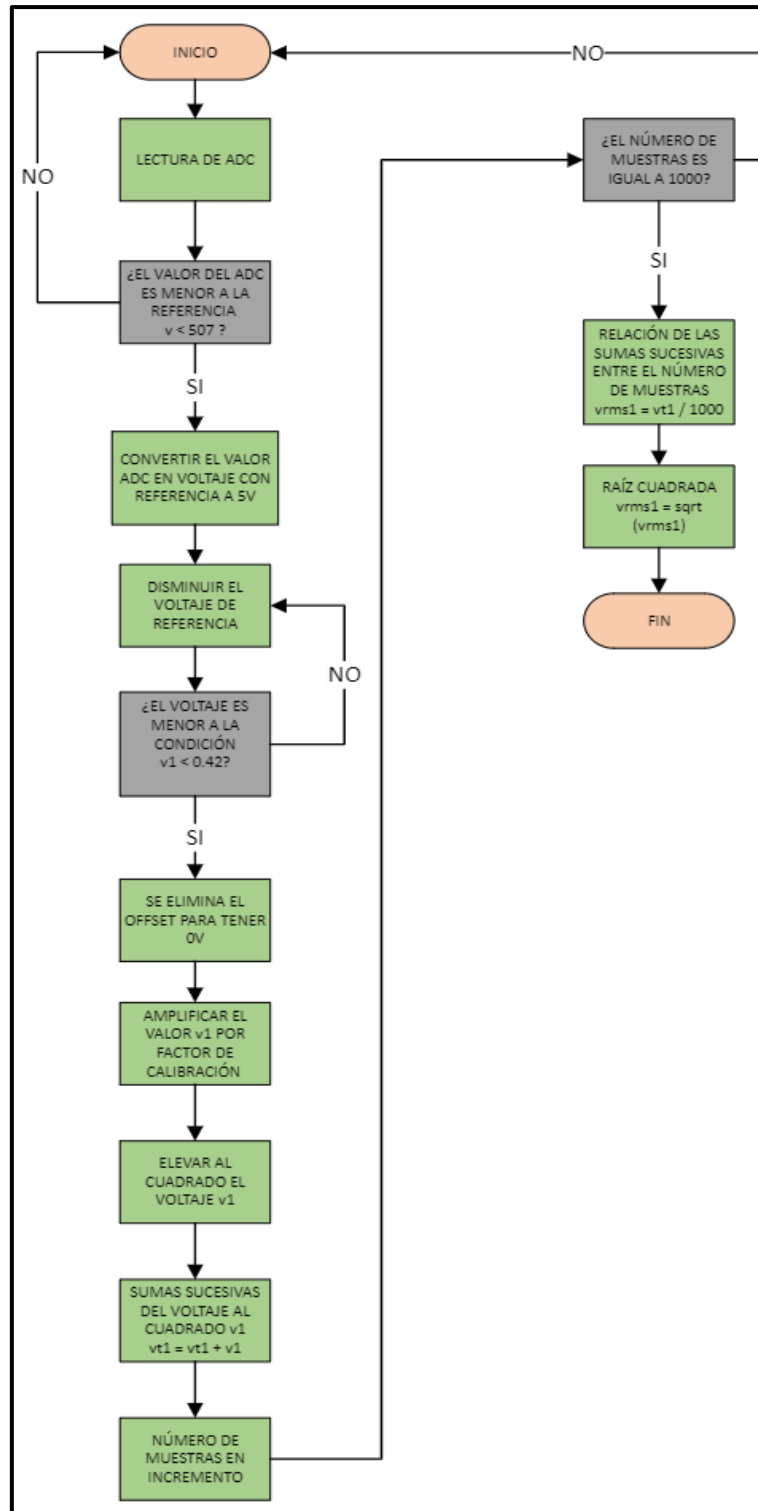


Figura 29. Flujograma del censado de voltaje RMS

Fuente: Autoría propia

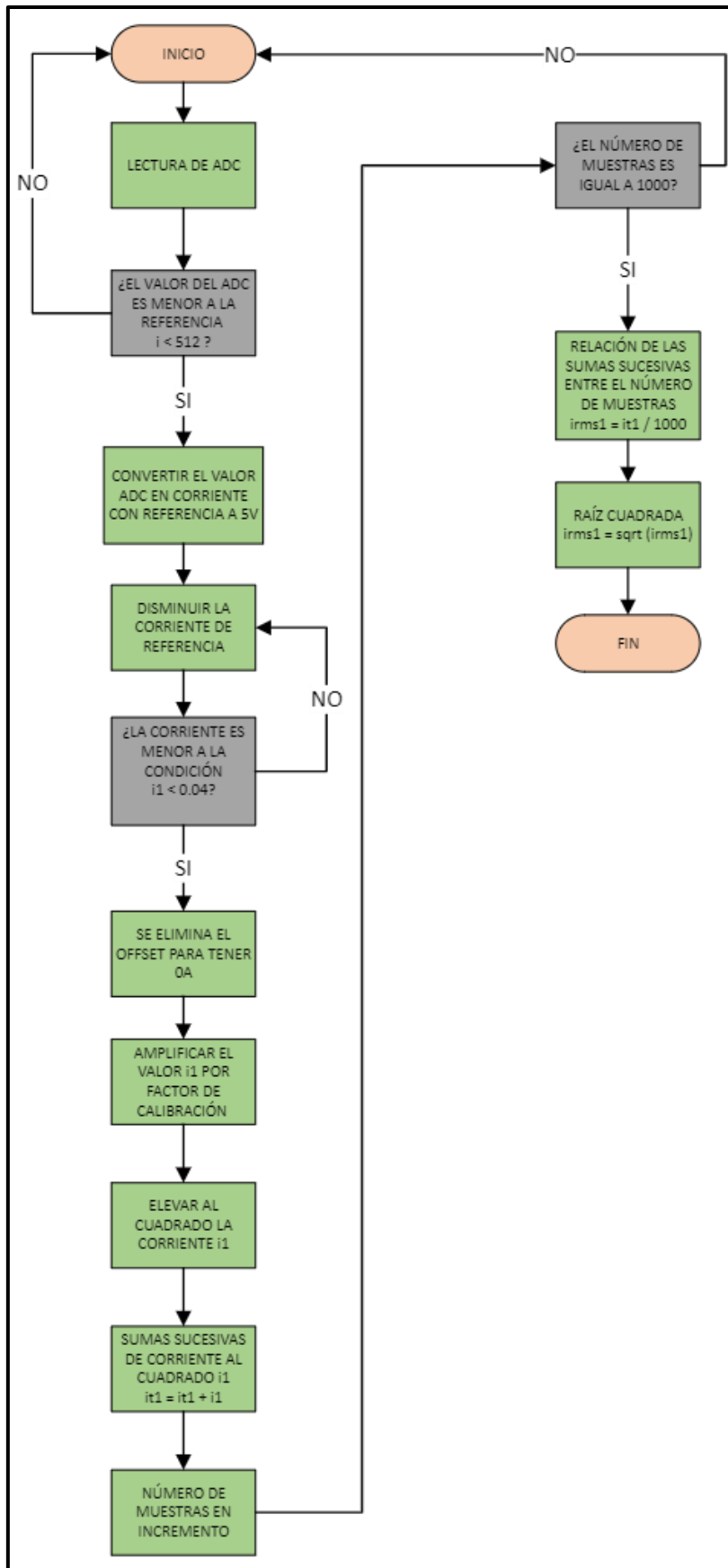


Figura 30. Flujograma del censado de corriente RMS

Fuente: Autoría propia

La obtención de los valores RMS permiten seguir con el cálculo de los demás parámetros eléctricos como potencia, consumo y factor de potencia, únicamente haciendo uso de relaciones matemáticas como son la Ec.1 y la Ec.4 respectivamente, en cuanto al consumo producido por una carga fue necesario la conversión de tiempo en donde 3600 segundos corresponden a 1 hora; para poder trabajar con valores de KWh. En lo que respecta con el envío de los valores el Arduino hace uso de un puerto serial virtual cada 10 segundos hacia el NodeMCU ESP8266, con la finalidad de no confundir o perder información durante el proceso.

Recepción y transmisión de datos

Para la recepción de los datos el NodeMCU usó el mismo puerto serial virtual en donde el Arduino enviaba los valores, con la finalidad de poder comunicarse y no perder ningún valor. Con respecto a la transmisión de dichos datos recibidos hacia el Raspberry fue necesario una conexión de tipo WiFi, en la Figura 31 se puede observar un diagrama de flujo que explica la forma de conexión y transmisión de valores a su base de datos.

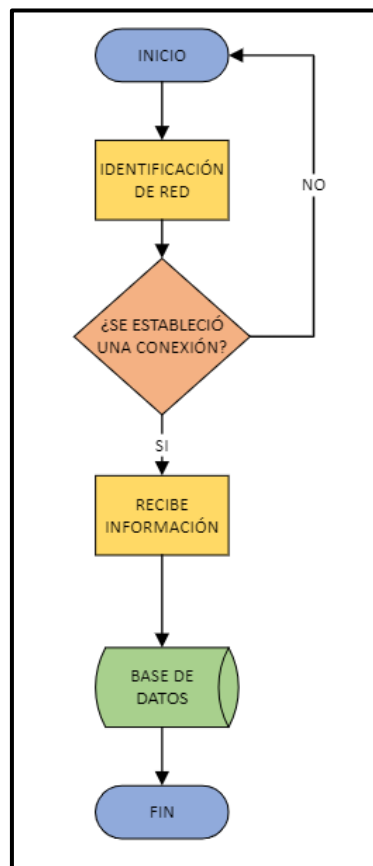


Figura 31. Diagrama de flujo para la conexión y envío de información a la base de datos Raspberry

Fuente: Autoría propia

Toda esta etapa se lo realiza de manera secuencial, es decir se recibe y se transmite los datos cada vez que los envía el Arduino, es decir cada 10 segundos.

Almacenamiento

El almacenamiento de datos que realiza el Raspberry se lo hace de igual manera en el mismo tiempo en el que son recibidos por el NodeMCU, es decir cada 10 segundos. En la Figura 32 se puede observar mediante diagrama de bloques hacia qué puntos del Raspberry fueron transmitidos los datos para su almacenamiento.

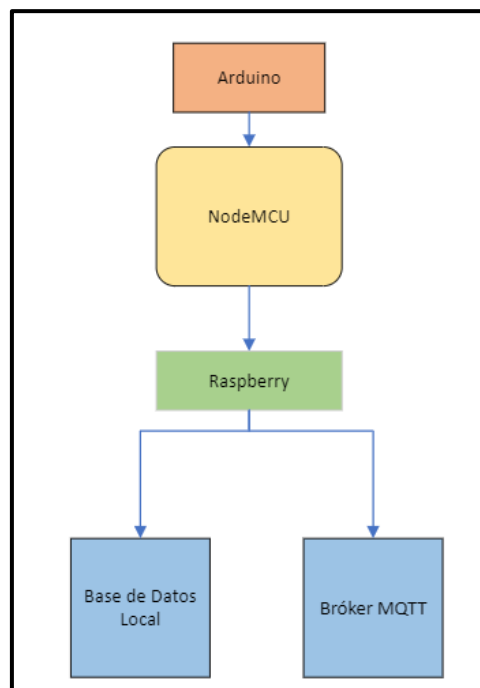


Figura 32. Diagrama de bloques de almacenamiento de datos en el Raspberry.

Fuente: Autoría propia

Como se pudo observar en la Figura 32 la transmisión y consecuentemente el almacenamiento de los datos se lo hace en dos partes, la primera por protocolo MQTT dirigida hacia el bróker MOSQUITTO, y la segunda por métodos POST y GET hacia la base de datos local del Raspberry.

Visualización

Esta etapa es la encargada de permitir visualizar la información obtenida, es decir los parámetros eléctricos. La cual se puede realizar de diferentes maneras:

- A través del bróker MOSQUITO del Raspberry a través del uso de la nomenclatura de suscripción de mensaje mosquitto_sub -h localhost -t "topic al que se está suscribiendo" Ejemplo: mosquitto_sub -h localhost -t "Medidor/Carga1/Corriente1" -v.
- A través de una página web local del Raspberry con seguridad de usuario.
- A través de la base de datos local del Raspberry.
- Por medio de la pantalla HMI NEXTION.

Monitoreo y Control

La plataforma Ubidots es la encargada de realizar la función de monitoreo de las cargas, con respecto al tiempo de uso, hora de inicio de su uso y el tipo de carga que se está usando. En lo que concierne al control se lo realiza mediante dos formas:

- El protocolo MQTT hacia el bróker MOSQUITTO del Raspberry, haciendo uso de la nomenclatura de publicación de mensaje mosquitto_pub -h localhost -t "topic que desea publicar" -m "el mensaje que se desea enviar" Ejemplo: mosquitto_pub -h localhost -t "Medidor/Carga1/control1" "1", en donde el valor de 1 se relaciona para el encendido y 0 para apagado.
- Control MQTT por medio de Ubidots, haciendo uso de botones de encendido y apagado para cada carga.

Una vez diseñada la tarjeta electrónica, se procedió a la elaboración del diseño esquemático, el cual consiste en una caja de derivaciones eléctricas IP65 que es hermética al polvo, protegida contra objetos sólidos y contra chorros de agua proyectada. Este tipo de caja se encarga de guardar y proteger todos los componentes que constituyen el prototipo de medición, como la tarjeta electrónica, unidad de procesamiento Raspberry, fuentes de alimentación, el sistema de control y visualización. En la Figura 33 se puede observar las dimensiones de la caja como también ciertos elementos externos que lo conforman.

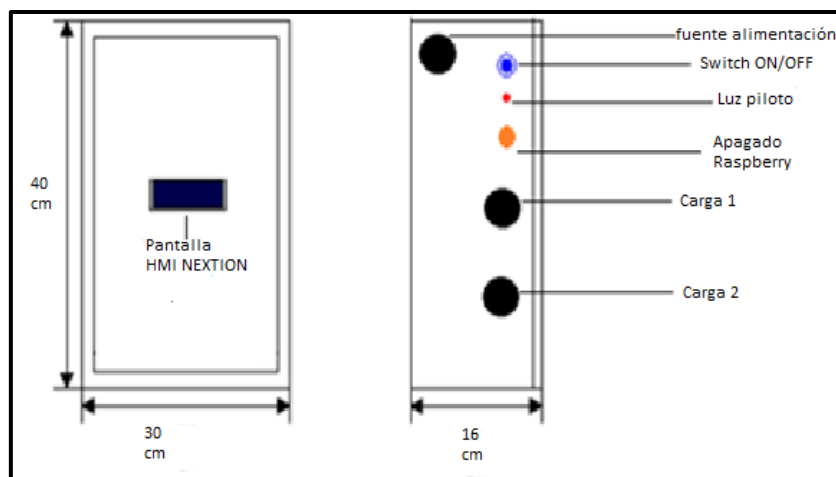


Figura 33. Dimensiones de la estructura del medidor

Fuente: Autoría propia

De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo llegar a ciertos criterios de análisis como son los valores de las resistencias obtenidas para el divisor de voltaje, en donde los valores comerciales no necesariamente tienen el mismo valor establecido que los calculados, es decir que tienden a ser cercanos o próximos, por lo que su implementación no afecta en cierto modo al funcionamiento del circuito de adquisición de datos. En cuanto al uso de un condensador menor al de 10 μF en el circuito de acondicionamiento de la señal del divisor de voltaje, se puede decir que no afecta su funcionamiento, debido a que este condensador puede tener cualquier valor entre los rangos de 1 a 10 μF , ya que su función se limita a asegurar la atenuación y de que no exista una variación del voltaje de offset. Los tiempos recepción de la información dentro del bróker MQTT y la base de datos del servidor Web; depende del tiempo que se establece en la programación del NodeMCU, y el almacenamiento de acuerdo con la memoria y tiempo, es decir entre mayor memoria se podrá almacenar muchos valores en un corto de tiempo, pero en el caso de tener una memoria de almacenamiento limitada; el tiempo debe ser mayor para no saturar y colapsar la base de datos.

En conclusión, en el presente capítulo se logró comprender la composición del circuito de adquisición de datos y las etapas de funcionamiento que tiene el prototipo por el cual, se puede iniciar el siguiente capítulo, referenciada a la implementación final y consecuentemente la evaluación de funcionamiento en base a pruebas en diferentes campos de análisis.

CAPITULO III

Implementación del prototipo de medición mediante pruebas de funcionamiento.

El objetivo de este capítulo es presentar los resultados de las pruebas a las que fue sometido el sistema de medición para el análisis de su funcionamiento, a través de la comparación y contrastación de las mediciones de los parámetros eléctricos con los valores medidos por los instrumentos patrones. Todo con el fin de poder realizar un análisis crítico-técnico en cuanto a su precisión, exactitud y funcionalidad.

3.1 Metodología

Continuando con la metodología seleccionada, el cual fue el modelo en Espiral se hace uso de las dos etapas restantes; realizando la implementación y pruebas para conocer el funcionamiento del sistema, todo esto con la finalidad de cumplir el objetivo del capítulo.

Implementación

El montaje del prototipo de medición se procedió de la siguiente manera:

1. Primero, se realizó incisiones circulares en los bordes de la caja con un radio de 1.7 cm aproximadamente para que se pueda introducir los tomacorrientes Cooper, las cuales tendrán la función de permitir introducir los dispositivos a medir. Seguidamente la colocación de los transformadores de 110/12 V, base del relé de estado sólido y el interruptor termomagnético, con la finalidad de que sirvan de base para el resto de los componentes. (Ver Figura 34)

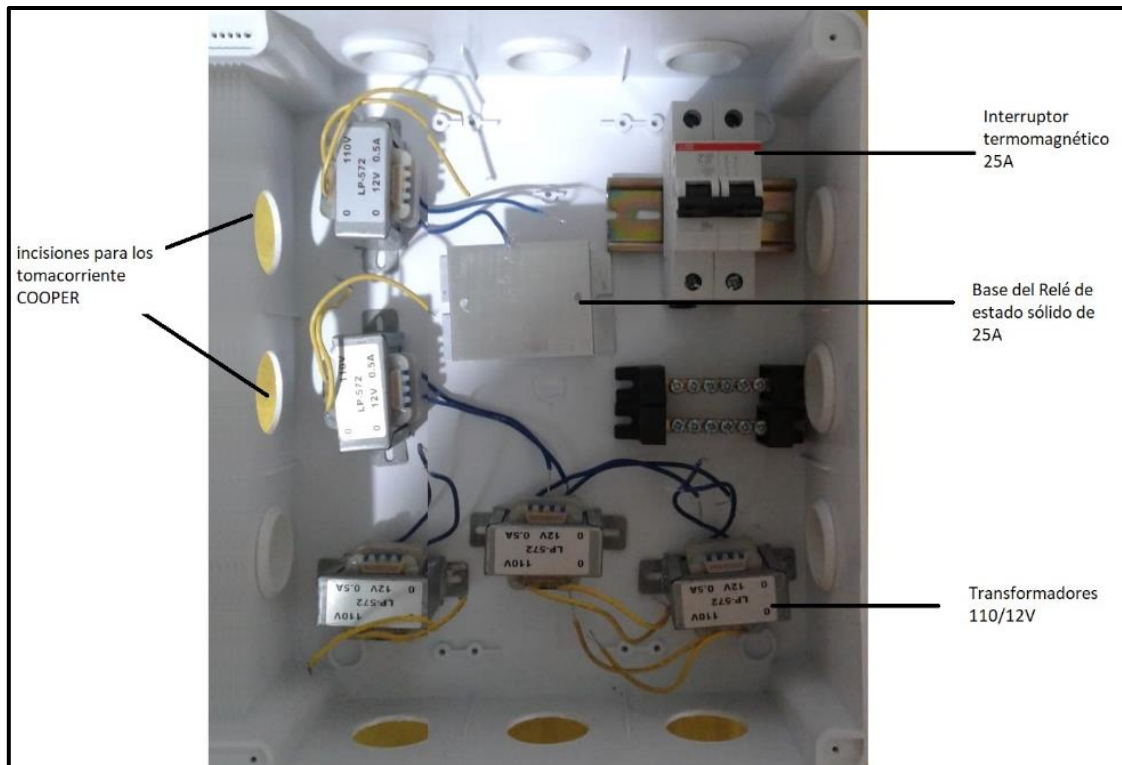


Figura 34. Montaje de los transformadores, tomacorrientes, interruptor termomagnético y base de relé.

Fuente: Autoría propia

2. A continuación, se realizó tres perforaciones para el montaje de botón switch, botón reset y luz piloto. Adicionalmente una perforación de igual radio que los tomacorrientes para la introducción de una Presoestopa, el cual se encargará de dar alimentación general para todo el prototipo. Como se lo puede observar en la Figura 35.



Figura 35. Montaje de los botones switch, luz piloto, RESET y fuentes de alimentación.

Fuente: Autoría propia

3. Seguidamente se procedió a conectar tanto los transformadores en los tomacorrientes con la configuración de 0 V – Neutro; 12 V – Fase, también se realizó conexiones de cables en los mismos tomacorrientes para distribuirlos hacia los sensores de corriente, sensores de voltaje y módulos relé.



Figura 36. Conexionado entre tomacorrientes, transformadores y simultáneamente entre los sensores y módulos relé.

Fuente: Autoría propia

4. Luego de ello se instaló la tarjeta electrónica con las diferentes conexiones partidas de los tomacorrientes y transformadores, en donde las salidas de los transformadores se les conecta en las borneras de los sensores de voltaje en paralelo y los sensores de corriente en serie con el cable fase proveniente de cada tomacorriente respectivamente.

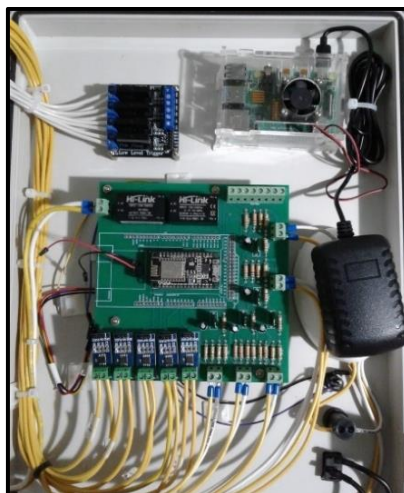


Figura 37. Instalación de la tarjeta electrónica

Fuente: Autoría propia

5. Para las conexiones de los módulos se realizó la unión del relé en serie con cada una de los neutros de los tomacorrientes respectivamente, e insertándolos en la tarjeta electrónica.

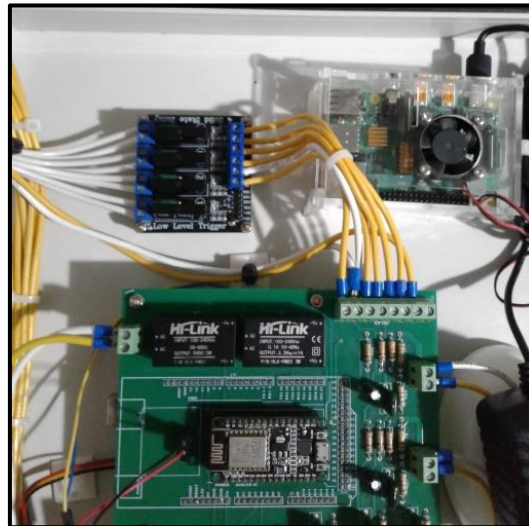


Figura 38. Conexión módulos relé y tarjeta relé.

Fuente: Autoría propia

6. Finalmente se procedió a colocar la pantalla NEXTION en la parte frontal de la caja para la visualización y terminación del prototipo de medición de consumo eléctrico.

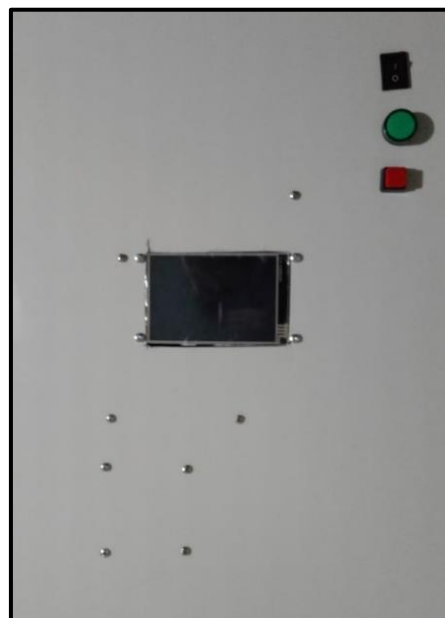


Figura 39. Ensamblaje de la pantalla Nextion HMI

Fuente: Autoría propia

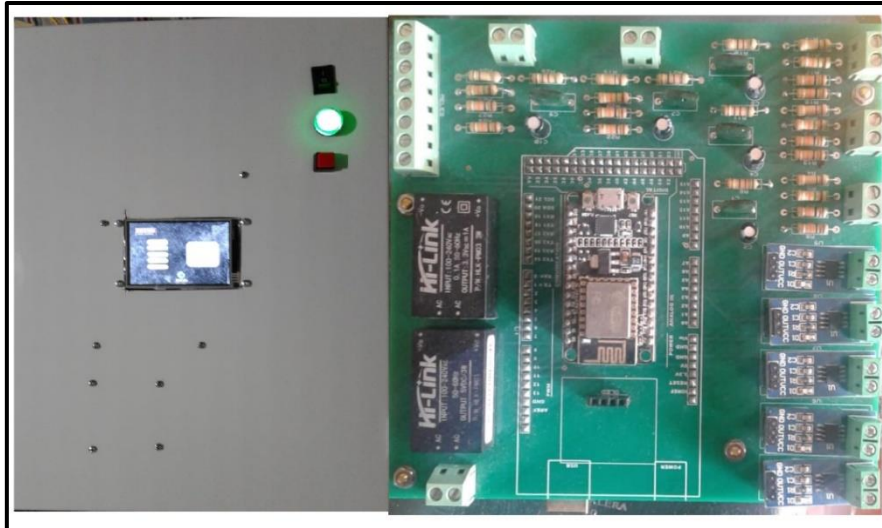


Figura 40 Prototipo Armado y placa terminada

Autor: Autoría propia

Pruebas

Las pruebas que se realizaron fueron las siguientes:

1. Pruebas de funcionamiento con diferentes tipos de carga.
2. Análisis de los valores comprendidos entre el prototipo y los instrumentos patrones.
3. Corrección de valores de calibración para alcanzar los valores de los instrumentos patrones.
4. Validación del funcionamiento del prototipo.

3.2 Materiales

Dentro de los materiales se encuentran ecuaciones de tipo matemático que ayudarán al análisis de la precisión y exactitud que tiene el prototipo con respecto a los instrumentos de medida patrones.

La precisión se la puede interpretar mediante la desviación estándar [σ] de un grupo de valores medidos. Matemáticamente se representa mediante la Ec.7.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X)^2}{n-1}}$$

Ec.7 Ecuación de la precisión

Fuente: (Alonso, I; Ruiz, S; Quintanilla, D; Zarcero, S, 2010)

En donde:

- σ = desviación estándar
- x_i = muestra tomada
- X = valor medio medido de muestras
- n =número de muestras

Todo con el propósito de establecer un valor de referencia para estimar cuanta variación existe con respecto al valor real.

En cuanto a la exactitud se hace referencia a que tan cercano se encuentra el valor medido con respecto al valor verdadero o real. Para calcular la exactitud se hace uso de dos ecuaciones; la Ec.8 y la Ec.9, los cuales se refieren al error absoluto y el error relativo.

$$E_a = X - u$$

Ec.8 Ecuación del error absoluto

(Alonso, I; Ruiz, S; Quintanilla, D; Zarcero, S, 2010)

En donde:

- E_a = error absoluto
- X = valor medio medido
- u = valor real o teórico

$$E_r(\%) = \frac{E_a}{u} * 100$$

Ec.9 Ecuación del error relativo

(Isabel, A; Ruiz, S; Quintanilla D; Zarcero S, 2010)

En donde:

- $E_r(\%)$ = error relativo porcentual
- E_a = error absoluto
- u = valor real

3.3 Resultados y Discusión

Los resultados se basan principalmente en la descripción de las pruebas de funcionamiento que el prototipo fue expuesto, con la finalidad de detallar el comportamiento que tuvo en comparación con los instrumentos de medida patrones.

Pruebas y análisis de los valores medidos por el prototipo de medición.

Para la validación de los valores medidos por el sistema es necesario el uso de los instrumentos patrones de medida, con el propósito de comparar dichas mediciones obtenidas y poder validar el funcionamiento del prototipo.

En las Figuras 41 y 42 se puede observar los instrumentos patrones que fueron utilizados durante la etapa de pruebas, como la pinza amperimétrica ALL-SUN EM-305A y un medidor electromecánico bifásico de energía eléctrica; tanto para la medición de voltaje, corriente y consumo eléctrico respectivamente.



Figura 41. Pinza Amperimétrica ALL-SUN EM-305A

Fuente: (digitronica, 2021)

La pinza amperimétrica ALL-SUN tiene una especificación de precisión con forma de \pm ([% de lectura]+ [número de dígitos menos importantes]), va dependiendo del valor a medir, en este caso en los parámetros de tensión AC y corriente AC desde 2, 20, 200 hasta 600 tienen su propia nomenclatura de precisión. (ver manual de usuario Anexo F)



Figura 42. Medidor Electromecánico Bifásico

Fuente: Autoría propia

Como se pudo observar en la Figura 42 se aprecia la estructura de un medidor electromecánico bifásico del EMELNORTE encargado de medir el consumo de energía eléctrica de una vivienda mediante registro ciclométrico.

Pruebas y análisis de valores de voltaje medidos por el prototipo de medición IoT.

Se realizaron pruebas de medición de voltaje en cinco valores de tensión AC de distintas horas, de las cuales se tomaron diez medidas de muestra con relación a cada uno de esos valores bajo la misma condición, como se lo puede observar en la Figura 43 en donde se hace una comparativa de los valores entre la pinza amperimétrica y el sistema de medición de voltaje.

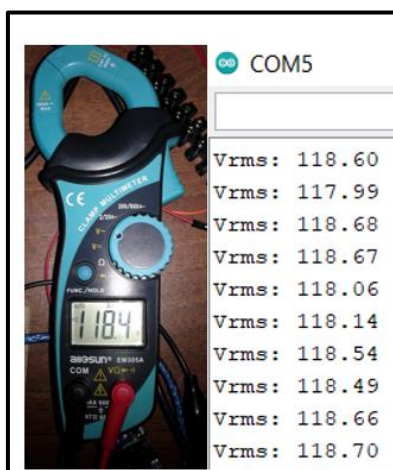


Figura 43. Comparativa de los valores de tensión entre la pinza amperimétrica y el sistema de medición de voltaje.

Fuente: Autoría propia

Con el fin de calcular la precisión y exactitud que tiene el prototipo en cuanto a la medición de la tensión con respecto al instrumento patrón, se procedió a hacer un análisis a diez muestras que se obtuvieron en los diferentes puntos de tensión AC. En la Tabla 11 se puede observar detalladamente las muestras obtenidas en las diferentes horas; Medida 1 tomada a las 11:20 am, Medida 2 tomada a las 11:30 am, Medida 3 tomada a las 11:45 am, Medida 4 tomada a las 11:55 am, Medida 5 tomada a las 12:00 pm, Medida 6 tomada a las 12:10 pm y la Medida 7 tomada a las 12:20 pm.

Tabla 11. Valores de tensión medidos por el prototipo

Medición de los diferentes puntos de tensión AC						
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
116,48	116,65	115,01	115,58	115,94	115,83	115,94
116,49	116,17	115	115,64	115,93	115,76	115,93
116,49	116,73	115,01	115,51	115,98	115,83	115,87
116,65	115,98	114,99	115,71	115,95	115,85	115,89
116,42	116,61	114,95	115,53	115,94	115,85	116,09
116,55	116,09	115,11	115,71	115,93	115,92	115,97
116,47	116,5	114,97	115,57	115,91	115,86	116,05
116,61	116,56	114,98	115,71	115,91	115,87	115,9
116,52	116,61	114,99	115,57	115,9	115,82	115,97
116,57	116,21	114,98	115,47	115,92	115,87	116,02

Fuente: Autoría propia

En la Tabla 12 se muestra el promedio de muestras de cada medida, los datos de precisión (σ) y exactitud (E% y E_a) calculados para el sistema de medición de tensión del prototipo a través de las ecuaciones Ec.7, Ec.8, Ec.9 en comparación con los valores reales medidos por el instrumento patrón.

Tabla 12. Precisión, error absoluto y relativo en diferentes puntos de medición de tensión AC.

	Promedio muestras [V]	ALL-SUN EM-305A [V]	Precisión σ	Error Absoluto [V]	Error relativo [%]
Medida 1	116,53	116,00	0,070	0,53	0,45
Medida 2	116,41	118,50	0,270	2,09	1,76
Medida 3	115,00	116,50	0,043	1,50	1,29
Medida 4	115,60	116,20	0,088	0,60	0,52

Medida 5	115,93	115,70	0,023	0,23	0,20
Medida 6	115,85	115,90	0,041	0,05	0,05
Medida 7	115,96	116,90	0,072	0,94	0,80
Error promedio			± 0.087	± 0.72	

Fuente: Autoría propia

Una forma más representativa de observar dichos valores es a través de la Figura 44 en donde se muestra una gráfica de comparación entre los valores medidos por el prototipo y el instrumento patrón ALL-SUN.

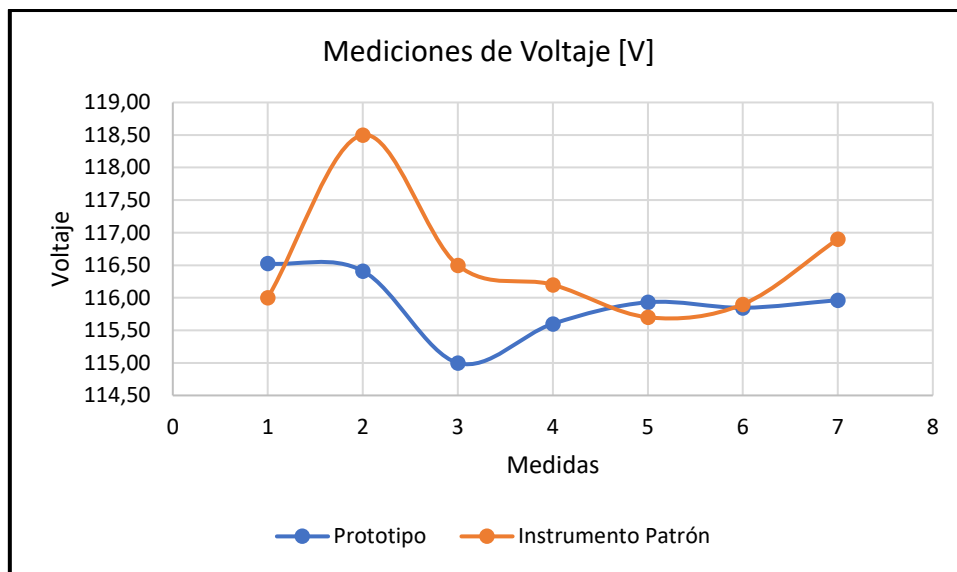


Figura 44. Comparativa de las mediciones de Voltaje

Fuente: Autoría propia

Tanto de la Tabla 12 y la Figura 44 se puede decir que las variaciones que existe entre el prototipo y el instrumento patrón no son muy alejadas del valor real, debido a que presenta un error de medición tanto en precisión como exactitud menor a $\pm 1\%$, esto se debe a la inestabilidad que sufre la red de suministro; es decir que la estabilidad del valor de tensión se ve afectada por factores tales como demanda, número de abonados, horario, número de equipos conectados, etc., ocasionando que exista pequeñas oscilaciones en los pines analógicos del microcontrolador.

Pruebas y análisis de valores de corriente medidos por el prototipo de medición IoT.

Para la validación y el análisis en cuanto a la precisión y exactitud que tiene el sistema de medición de corriente del prototipo con respecto al instrumento patrón, se

hizo mediciones a siete diferentes cargas con la finalidad de que el sensor experimente diferentes valores de corriente, en las cuales se tomaron diez medidas de muestra en cada una de las cargas. En la Figura 45 se puede ver la comparación entre los valores del prototipo con el instrumento patrón.

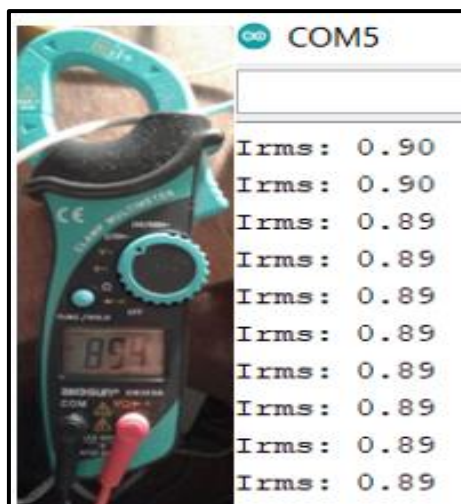


Figura 45. Comparativa de los valores de corriente entre la pinza amperimétrica y el prototipo.

Fuente: Autoría propia

En la Tabla 13 se puede observar las mediciones que obtuvo el prototipo con respecto a cada carga para el respectivo análisis. En donde las cargas se ven reflejadas en las siguientes medidas.

Medida 1: Foco incandescente SYLVANIA de 105 W

Medida 2: Foco Led SYLVANIA de 20 W

Medida 3: Taladro ULTRACRAFT de 500 W

Medida 4: Batidora UMCO de 100 W (1ra velocidad medida)

Medida 5: Licuadora/procesadora de alimentos NINJA 1000 W

Medida 6: Cine en casa Panasonic de 135 W

Medida 7: Licuadora Oster de 12 velocidades 450W (7ma velocidad medida)

Tabla 13. Valores de corriente medidos por el prototipo

Medición de los diferentes tipos de carga						
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7
[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
0,79	0,25	1,59	0,54	2,27	0,43	1,20
0,78	0,24	1,58	0,53	2,27	0,43	1,20
0,78	0,24	1,56	0,52	2,26	0,43	1,19

Medición de los diferentes tipos de carga						
0,78	0,24	1,56	0,53	2,26	0,43	1,20
0,78	0,24	1,55	0,51	2,25	0,44	1,20
0,79	0,24	1,55	0,51	2,24	0,43	1,20
0,78	0,24	1,55	0,51	2,25	0,44	1,20
0,79	0,24	1,54	0,52	2,24	0,43	1,21
0,78	0,24	1,54	0,52	2,23	0,43	1,20
0,78	0,24	1,54	0,53	2,24	0,43	1,20

Fuente: Autoría propia

En la Tabla 14 se muestra el promedio de muestras de cada medida, los datos de precisión (σ) y exactitud (E% y Ea) calculados para el sistema de medición de corriente del prototipo a través de las ecuaciones Ec.7, Ec.8, Ec.9 en comparación con los valores reales medidos por el instrumento patrón ALL-SUN.

Tabla 14. Precisión, error absoluto y relativo medidos en las diferentes cargas.

	Promedio muestras [A]	ALL-SUN EM-305A [A]	Precisión σ	Error absoluto [A]	Error relativo [%]
Medida 1	0,78	0,85	0,005	0,07	7,88
Medida 2	0,24	0,20	0,003	0,04	20,50
Medida 3	1,56	1,72	0,017	0,16	9,53
Medida 4	0,52	0,55	0,010	0,03	5,09
Medida 5	2,25	2,30	0,014	0,05	2,13
Medida 6	0,43	0,38	0,004	0,05	13,68
Medida 7	1,20	1,10	0,005	0,10	9,09
	Error Promedio		$\pm 0,008$		$\pm 9,70$

Fuente: Autoría propia

En la Figura 46 se puede observar las gráficas de los promedios de las mediciones de la corriente realizadas por el prototipo y el instrumento patrón con las diferentes cargas específicas con anterioridad.

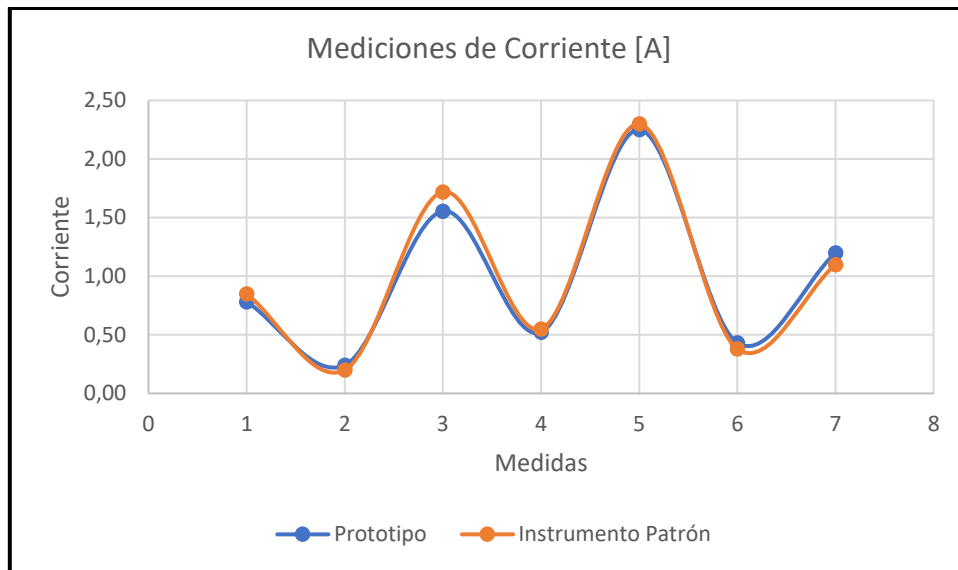


Figura 46. Comparativa de las mediciones de Corriente
Fuente: Autoría propia

De la Tabla 14 y Figura 46 se deduce que tanto la exactitud como la precisión del prototipo van desde $\pm 0,008$ y $\pm 9,7\%$ respectivamente, en donde dichos parámetros métricos se ven afectados de acuerdo al tipo de carga que sea; ya sean resistivas, inductivas o capacitivas, todo esto debido al principio de efecto hall que tiene el sensor; es decir los valores medidos por este pueden variar dependientemente de aspectos como una mala manipulación, por la presencia de basura, calentamiento del dispositivo, tiempo de uso, la sensibilidad del sensor o de la constante de calibración; el cual se calcula mediante observación.

Pruebas y análisis de valores de potencia calculados por el prototipo de medición IoT.

Antes de realizar las pruebas de potencia de las diferentes cargas, se tomó en cuenta los valores proporcionados por los fabricantes o datos de placa. Esto se lo puede observar en la Tabla 15, en donde se especifica los parámetros eléctricos con los cuales trabajan dichos dispositivos.

Tabla 15. Valores proporcionados por los fabricantes.

Medida	Carga	Voltaje [V]	Frecuencia [Hz]	Potencia [W]
1	Foco incandescente	110-120	60	105
2	Foco Led SYLVANIA	110-120	60	20

Medida	Carga	Voltaje [V]	Frecuencia [Hz]	Potencia [W]
3	Taladro ULTRACRAFT	127	60	550
4	Batidora UMCO 7 velocidades	110-120	60	100
5	Licuadora/procesadora de alimentos NINJA	120	60	1000
6	Cine en casa Panasonic	100-240	50/60	135
7	Licuadora Oster 12 velocidades	120	50/60	450

Fuente: Autoría propia

Los valores de potencia mostrados en la Tabla 15 son de referencia, ya que dichos valores son de acuerdo con parámetros constantes de corriente y tensión, esto no ocurre en la vida cotidiana debido a que la red eléctrica que es distribuida hacia las residencias tiene la particularidad de tener la presencia de fluctuaciones; debido a la distancia que existe entre el transformador y la residencia, la demanda, horarios, entre otros.

Al igual que los casos anteriores se realizaron diez mediciones respectivamente a las siete cargas presentadas con anterioridad en la Tabla 15, con la finalidad de poder calcular la precisión y exactitud que tiene el prototipo en cuanto a los valores de potencia que entregan dichas cargas. En la Tabla 16 se puede observar detalladamente los valores de potencia que fueron tomadas por el prototipo.

Tabla 16. Valores de potencia medidos por el prototipo

Medición de los diferentes tipos de carga						
Medida 1 [W]	Medida 2 [W]	Medida 3 [W]	Medida 4 (1ra velocidad) [W]	Medida 5 [W]	Medida 6 [W]	Medida 7 (7ma velocidad) [W]
91,62	28,84	183,36	62,75	263,66	49,98	139,56
91,31	27,65	181,48	61,30	263,01	49,85	139,09
91,34	28,12	179,8	60,59	262,29	49,74	137,96
91,38	28,08	179,17	60,78	261,61	49,75	138,73
91,06	28,31	178,19	59,36	260,52	50,42	139,17
91,49	28,16	178,07	59,18	259,67	50,23	138,84
91,18	28,49	177,99	59,47	260,25	50,42	138,83
91,56	27,81	177,42	60,61	259,99	50,17	139,83
91,11	27,78	177,21	60,09	258,98	50,26	138,92
91,38	27,84	177,14	60,51	259,68	50,18	139,65

Fuente: Autor

En la Tabla 17 se presenta el promedio de muestras de cada medida, la potencia proporcionada en los datos de placa, los datos de precisión (σ) y exactitud (E% y Ea) calculados para el sistema de medición de potencia del prototipo a través de las ecuaciones Ec.7, Ec.8, Ec.9 y los valores reales medidos por el instrumento patrón que en este caso es por cálculo.

Tabla 17. Precisión, error absoluto y relativo en los puntos de medición de potencia de las diferentes cargas

	Valor Proporcionado [W]	Promedio de Muestras [W]	Valor Calculado [W]	Precisión σ	Error absoluto [A]	Error relativo [%]
Medida 1	105	91,34	98,60	0,186	7,26	7,36
Medida 2	20	28,11	23,70	0,366	4,41	18,60
Medida 3	500	178,98	200,38	2,042	21,40	10,68
Medida 4	100	60,46	63,91	1,057	3,45	5,39
Medida 5	1000	260,97	266,11	1,583	5,14	1,93
Medida 6	135	50,10	44,04	0,256	6,06	13,76
Medida 7	450	139,06	128,59	0,542	10,47	8,14
Error Promedio				$\pm 0,862$		$\pm 9,41$

Fuente: Autoría propia

Para una mejor visualización y comprensión acerca del comportamiento que tiene el prototipo en comparación con los valores calculados se debe observar la Figura 47 en donde se encuentra una gráfica comparativa de dichos valores.

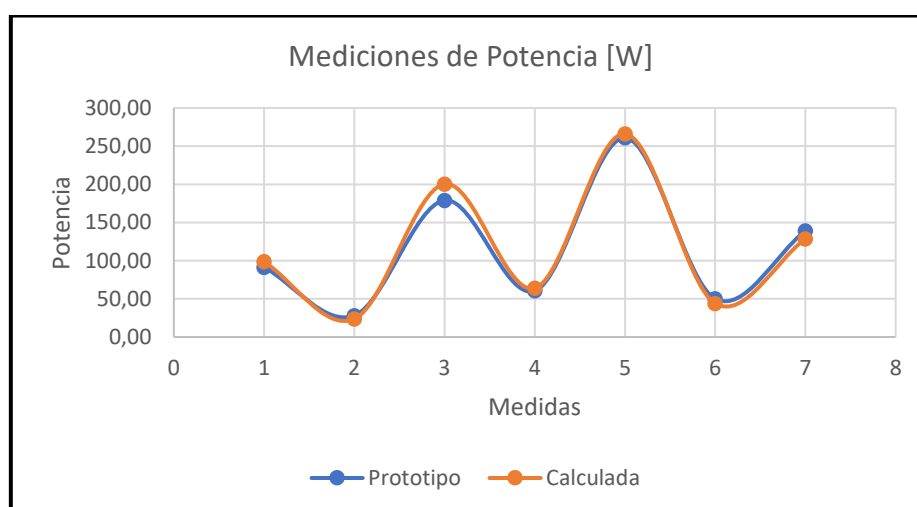


Figura 47. Comparativa de las mediciones de Potencia.

Fuente: Autoría propia

De acuerdo con la Tabla 17 y la Figura 47 se puede deducir que la potencia medida por parte del prototipo se encuentra relativamente cercana con la potencia calculada en relación de precisión y exactitud; con $\pm 0,862$ y $\pm 9,41\%$ respectivamente, esto se debe a que en la potencia calculada intervienen los parámetros eléctricos de tensión como de corriente de la carga; los cuales de cierta manera se ven afectados con fluctuaciones por razones tanto por inestabilidad de la red eléctrica como de aspectos externos e internos que afectan a la carga; como tiempo de uso, sobrecalentamiento y perturbaciones. Además, se puede decir que la potencia medida por el prototipo se verá afectada en algunos casos; es decir que disminuirá paulatinamente debido al sobrecalentamiento de la carga por un tiempo de uso excesivo o largo.

Pruebas y análisis de valores de consumo eléctrico calculados por el prototipo de medición IoT.

Las pruebas que se realizaron para validar los valores obtenidos por el prototipo con respecto a la medición del consumo de energía eléctrica se basaron básicamente en conectar el medidor electromecánico del EMELNORTE con la carga, y el prototipo de igual manera con el fin de que el medidor vaya midiendo y registrando el consumo que se está generando. En este caso se usó de carga una TV Samsung Slim Fit con los siguientes datos de placa: Voltaje: 100-240V, Frecuencia: 50/60Hz, Potencia: 140W, el cual se encontraba en estado de encendido durante un periodo de 24 horas para la respectiva recolección de datos con respecto al consumo que genera.

Al momento de usar el medidor electromecánico del EMELNORTE se observó que este ya presentaba una lectura de consumo (**60975**), debido a que se le usaba con anterioridad en una vivienda. Por lo que para realizar la prueba de funcionamiento se estableció una interpretación de dicha lectura, en donde ese valor corresponde a un valor inicial de 0 y que a partir de ahí irá aumentando progresivamente de acuerdo con la lectura de consumo que se registre. En la Figura 48 se puede observar los registros de consumo que se obtuvo tanto para el medidor electromecánico como del prototipo.



Figura 48. Medición del consumo entre el medidor y el prototipo

Fuente: Autoría propia

En la Tabla 18 se puede observar los datos de Lectura de consumo de energía eléctrica registrados por el medidor del EMELNORTE y el prototipo durante un periodo de 24 horas.

Tabla 18. Error relativo y absoluto en los diferentes puntos de medición de consumo.

Fecha	Hora	Lectura Medidor EMELNORTE [KWh]	Interpretación de lectura del Medidor EMELNORTE [KWh]	Lectura prototipo	Error absoluto [KWh]	Error relativo [%]
1/8/2021	23:28	60975	0	0	0	0
2/8/2021	11:28	60976	1	1,105	0,105	10,50
2/8/2021	23:28	60977	2	2,210	0,210	10,50
Error Promedio						± 7

Fuente: Autoría propia

En la Figura 48 se observa de forma gráfica las lecturas de consumo realizadas por el prototipo y el instrumento patrón con respecto a la carga Tv Samsung Slim Fit conectado, las lecturas fueron obtenidas durante un lapso de un día.

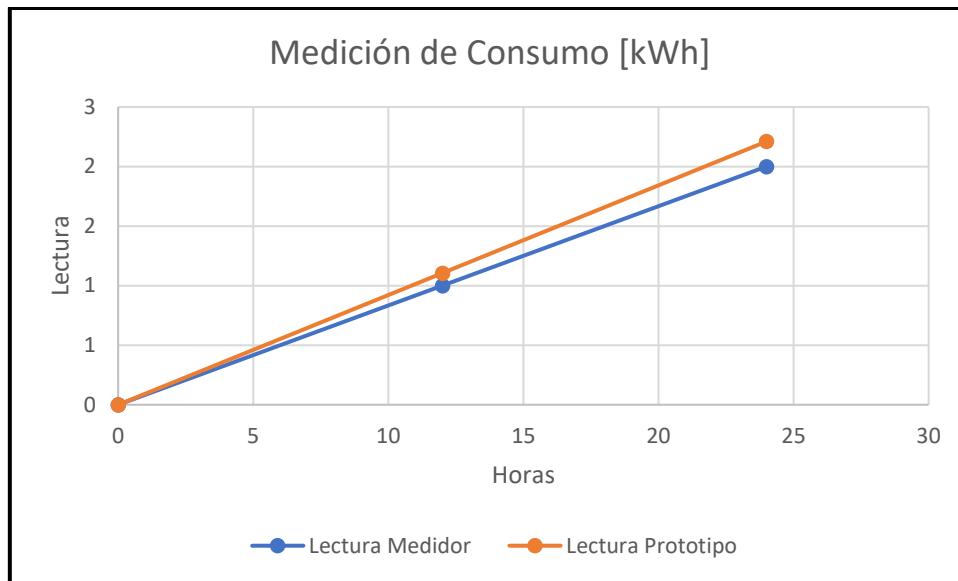


Figura 49. Comparativa de las mediciones de consumo

Fuente: Autoría propia

De acuerdo con la Tabla 18 y Figura 49 se puede decir que la lectura de consumo de energía eléctrica medido por parte del prototipo se aproxima a los valores proporcionados por el medidor electromecánico, ya que tiene un promedio de error de $\pm 7\%$ en donde este se ve justificado por la razón de que el instrumento patrón no hace uso de decimales más bien solamente de números enteros como se lo pudo observar en la Figura 47.

Pruebas de monitoreo del prototipo de medición en conjunto con los servidores local MQTT, Web y Ubidots.

Las pruebas de monitoreo del sistema de medición y procesamiento integrados en su totalidad constaron básicamente en realizar consultas a los servidores local MQTT, base de datos, página Web y la plataforma Ubidots. En donde la primera parte consistió en el monitoreo por parte del NodeMCU, la cual se enfocaba en recibir y procesar los datos enviados por el Arduino para el posterior envío hacia la base de datos local y bróker MOSQUITO.

En la Figura 50 se puede observar la recepción y su posterior transmisión de los datos por parte del NodeMCU.

```

Conectando a la base de datos.. 192.168.1.26
prueba/save.php?Corriente1=0.79&Voltaje1=122.09&Potencial=86.08&Consumo1=0.00&Fp1=0.89
prueba/save1.php?Corriente2=0.00&Voltaje2=122.87&Potencia2=0.00&Consumo2=0.00&Fp2=0.10
prueba/save2.php?Corriente3=0.15&Voltaje3=118.47&Potencia3=4.27&Consumo3=0.00&Fp3=0.24
prueba/save3.php?Corriente4=0.00&Voltaje4=0.00&Potencia4=0.00&Consumo4=0.00&Fp4=0.00
prueba/save4.php?Corriente5=0.06&Voltaje5=125.08&Potencia5=1.39&Consumo5=0.00&Fp5=0.19
Enviando solicitud
Recibiendo del servidor remoto
HTTP/1.1 200 OK
Date: Thu, 29 Sep 2022 06:24:33 GMT
Server: Apache/2.4.38 (Raspbian)
Content-Length: 18
Connection: close
Content-Type: text/html; charset=UTF-8

Guardado correcto!HTTP/1.1 200 OK
Date: Thu, 29 Sep 2022 06:24:33 GMT
Server: Apache/2.4.38 (Raspbian)
Content-Length: 18
Connection: close
Content-Type: text/html; charset=UTF-8

Guardado correcto!HTTP/1.1 200 OK
Date: Thu, 29 Sep 2022 06:24:33 GMT
Server: Apache/2.4.38 (Raspbian)
Content-Length: 18
Connection: close
Content-Type: text/html; charset=UTF-8

Guardado correcto!HTTP/1.1 200 OK
Date: Thu, 29 Sep 2022 06:24:33 GMT
Server: Apache/2.4.38 (Raspbian)
Content-Length: 18
Connection: close
Content-Type: text/html; charset=UTF-8

Guardado correcto!HTTP/1.1 200 OK
Date: Thu, 29 Sep 2022 06:24:33 GMT
Server: Apache/2.4.38 (Raspbian)
Content-Length: 18
Connection: close
Content-Type: text/html; charset=UTF-8

Guardado correcto!

```

Figura 50. Recepción y transmisión de los datos por parte del NodeMCU

Fuente: Autoría propia

El envío como la recepción de los datos se los hace por comunicación serial entre el Arduino y el NodeMCU, esta comunicación bidireccional toma 10 segundos en ser enviada y recibida como se lo explicó con anterioridad en el capítulo dos.

Siguiendo el proceso de monitoreo del bróker MOSQUITTO, se realizó consultas por suscripción a un tema (topic) específico en la terminal del Raspberry, debido a que esta modalidad facilita el acceso a la información enviada por la tarjeta de desarrollo Arduino y viceversa para el control de las cargas. Como se lo puede observar en la Figura 51, en donde el bróker MOSQUITTO recibió los mensajes provenientes de la unidad de comunicación NodeMCU y permitió su visualización por medio de la suscripción: mosquitto_sub, en el caso para el control de dichas cargas el MOSQUITTO trabajó por medio de la publicación de mensajes: mosquitto_pub con la especificación del topic o mensaje.

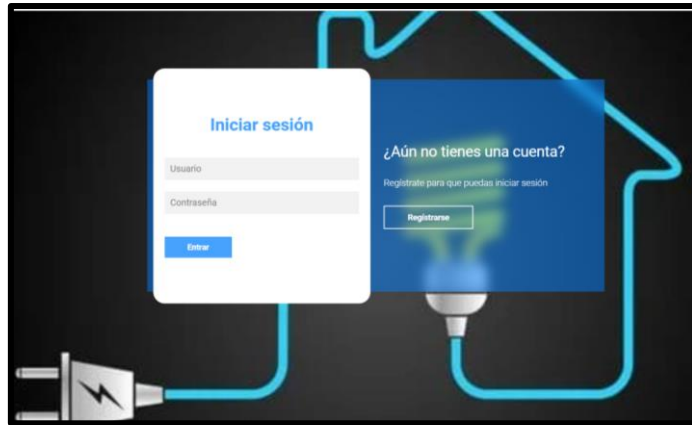


Figura 52. Página de ingreso y registro al sistema de monitoreo

Fuente: Autoría propia

Todo esto se propuso con la finalidad de llevar un control de acceso, es decir que solamente el usuario del prototipo de medición pueda acceder a la información o las personas cercanas que el desee. Una vez iniciado sesión de forma correcta se puede ingresar a la página de bienvenida del prototipo, en el cual cuenta con una pestaña menú para dirigirse a todos los campos que tiene la página para observar los datos de las cargas y las variables eléctricas que las involucran. En la Figura 53 se puede apreciar la página de bienvenida con las características de acceso a las cargas como el cierre de sesión.



Figura 53. Página de bienvenida del sistema de monitoreo

Fuente: Autoría propia

Al acceder a la parte de monitoreo de variables para cada carga, se puede visualizar las gráficas de los parámetros eléctricos como corriente, voltaje, potencia, consumo y finalmente factor de potencia; con el propósito de dar un mejor monitoreo. Como se

puede observar en la Figura 54, la página se la diseñó de forma que tenga la particularidad de acceder a los datos que se generaron por fechas y consecuentemente se muestre los valores en su tabla.



Figura 54. Página de monitoreo de las variables eléctricas del sistema de medición

Fuente: Autoría propia

La página del monitoreo de las variables mediante gráficas fue diseñada de tal manera que se actualice a cada instante presionando el botón F5, y los valores se guardan en la base de datos específicamente en la tabla mediciones de forma inmediata, con el tiempo programado en el NodeMCU de 10 segundos respectivamente.

En la Figura 55 se puede contemplar el almacenamiento de los valores recibidos por el NodeMCU, en donde mediante un arreglo se los guarda en orden id (identificador de tipo auto incrementado), corriente, voltaje, potencia, consumo, fp (factor de potencia) y por último la fecha/hora de llegada correspondiente a cada carga.

	id	Corriente	Voltaje	Potencia	Consumo	Fp	date_h
<input type="checkbox"/>	425	0.86	114.64	95.05	0	0.96	2021-08-04 16:58:37
<input type="checkbox"/>	426	0.86	113.07	94.89	0	0.98	2021-08-04 16:58:47
<input type="checkbox"/>	427	0.86	113.21	95.32	0	0.98	2021-08-04 16:58:48
<input type="checkbox"/>	428	0.85	112.63	94.16	0	0.98	2021-08-04 16:58:50
<input type="checkbox"/>	429	0.85	112.41	93.87	0	0.98	2021-08-04 16:58:51
<input type="checkbox"/>	430	0.86	113.15	95.65	0	0.98	2021-08-04 16:58:53
<input type="checkbox"/>	431	0.87	113.05	95.74	0	0.98	2021-08-04 16:58:55
<input type="checkbox"/>	432	0.86	112.96	95	0	0.98	2021-08-04 16:58:56
<input type="checkbox"/>	433	0.85	113.29	94.83	0	0.98	2021-08-04 16:58:58
<input type="checkbox"/>	434	0.86	112.88	95.08	0	0.98	2021-08-04 16:58:59
<input type="checkbox"/>	435	0.86	113.27	95.33	0	0.98	2021-08-04 16:59:01

Figura 55. Almacenamiento de los datos en la tabla mediciones

Fuente: Autoría propia

Finalizando el proceso de monitoreo, la plataforma Ubidots fue el encargado de monitorear y controlar las cargas. Como se lo puede observar en la Figura 56 en donde mediante un tablero se aprecia botones de encendido y apagado para el control de las cargas.

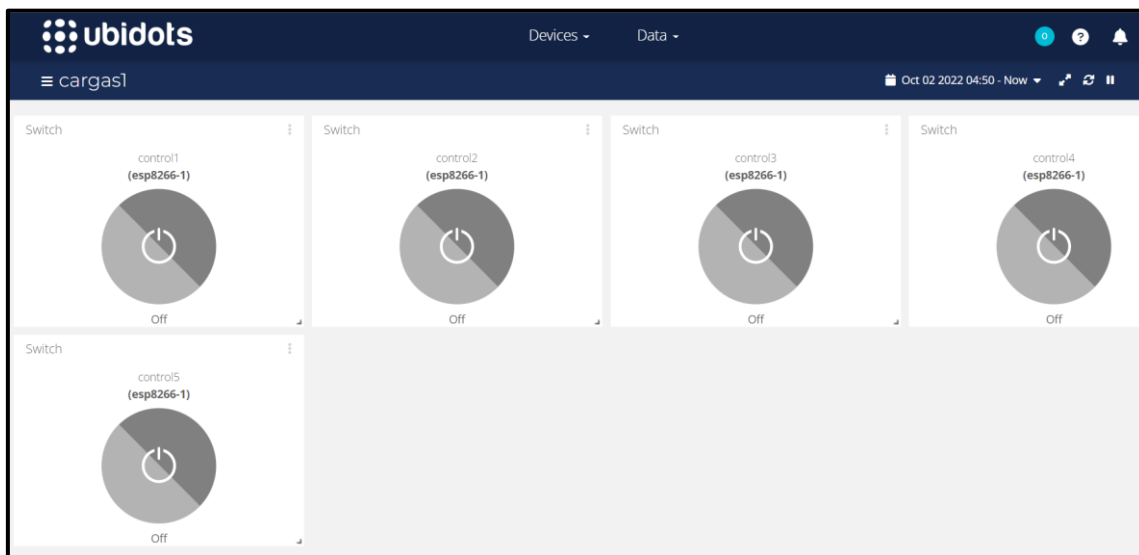


Figura 56. Plataforma Ubidots para monitoreo y control de cargas

Fuente: Autoría propia

El monitoreo se lo hace en tiempo real desde el momento en que es encendido la carga como cuando es apagada, detallando el tiempo de inicio como su finalización, con respecto al control se lo hace por protocolo MQTT en suscripciones a las variables; en

este caso los botones, la respuesta es de igual forma en tiempo real e inmediata. Como algo adicional se integró el manejo de las cargas mediante una configuración básica en la plataforma IFTTT, Ubidots y Google Home, mediante un enlace entre la variable de control proveniente de la plataforma Ubidots y el asistente de Google. Con el propósito de garantizar un manejo inteligente y controlado con respecto a las cargas. En la Figura 57 se puede apreciar la interacción que existió entre el usuario y el asistente de Google para control de una carga.

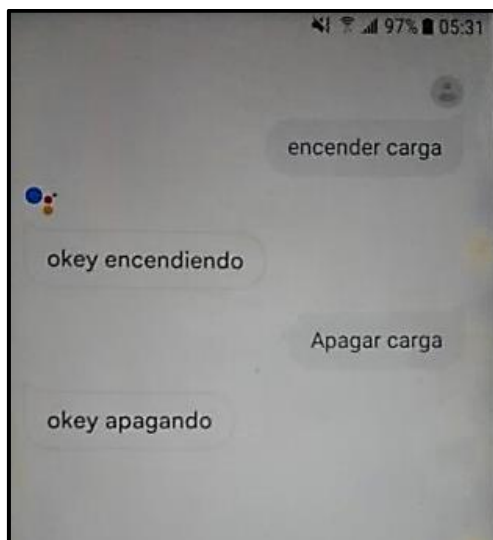


Figura 57. Interacción con el asistente Google

Fuente: Autoría propia

La respuesta y el accionamiento de las actividades por parte del asistente Google es instantánea debido a su programación y enlazamiento con Ubidots, generando un control de encendido y apagado sin contratiempos.

3.4 Análisis crítico-técnico del funcionamiento del prototipo de medición.

En base a la información recopilada y de los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento se puede decir que el prototipo con sistema de medición de consumo de energía eléctrica residencial mediante la aplicación del Internet de las Cosas se encuentra validado en términos de construcción, tipo de energía que mide, precisión, exactitud, y el tipo de conexión a la red. Ya que presenta características inteligentes; mediante el uso de la tecnología IoT con protocolo MQTT para monitorización, visualización y control de información sin la necesidad de interactuar con la máquina directamente sino por medio de una, todo esto se lo realiza mediante una comunicación simétrica con un tiempo de 10 segundos en transmisión, recepción y almacenamiento

de la información, y en cuanto al control se lo realiza en tiempo real, es decir en el momento que se dicta la orden se ejecuta la acción. La precisión y el porcentaje de error es dependiente del parámetro, es decir al hablar de la lectura de tensión tiene una precisión promedio de ± 0.087 y un error promedio de ± 0.72 con relación con los instrumentos patrones, valores no muy lejanos a los reales, esto se debe a fluctuaciones que sufre la red; debido a factores externos, como distancia entre el transformador y el abonado, horario de uso, equipos conectados, inestabilidad, demanda, etc. En cuanto a la lectura de la corriente se puede decir que tiene una precisión y porcentaje de error dependiente de la cantidad de corriente que consume la carga, es decir si el consumo es muy pequeño en término de los mA el error será muy notorio con valores muy alejados a los tomados por los instrumentos patrones, también se puede decir que depende del tipo de sensor que se está usando, ya que las características de sensibilidad, precisión y método de medición difieren en cada modelo y tipo. Todo esto induce que las lecturas del consumo de energía se vean en cierta forma afectadas con fluctuaciones, pero sin ser de alto grado, ya que estas fluctuaciones solo varían en el término de decimales más no de números enteros, en otras palabras, se puede decir que tanto la precisión como la exactitud dependen mayormente de factores externos más no internos del prototipo.

3.5 Costo del prototipo

Para la implementación del prototipo se dio uso de los componentes que se detalló con anterioridad en el capítulo dos; en los cuales se detallaban su valor aproximado de acuerdo con tiendas electrónicas en línea, mercado libre, distribuidores eléctricos/electrónicos, etc. Pero al momento de adquirirlos se comprobó que su valor era diferente al que se detallaba (Ver Tabla 19), en donde se puede observar los valores reales comerciales que presentan cada uno de los componentes tanto eléctricos como electrónicos que se usaron para la implementación del medidor de consumo de energía eléctrica residencial mediante el Internet de las Cosas.

Tabla 19. Presupuesto

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Tablero plástico 40x30x16	1	60.38	60.38
Kit Raspberry PI 4	1	80.00	80.00

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
NodeMCU ESP8266 v3	1	8.20	8.20
Arduino Mega 2560 R3	1	25.50	25.50
Borneras	9	0.40	3.62
Resistencias ½ W	25	0.03	0.78
Resistencias ¼ W	3	0.03	0.08
Sensor de corriente ACS712-30A	5	4.90	24.50
Capacitor electrolítico 10uF/50V	5	0.07	0.35
Regleta macho simple	2	0.36	0.72
Regleta hembra simple	2	0.45	0.90
Regleta macho doble	1	0.63	0.63
Capacitor poliéster 100nF/450V	5	0.45	2.25
Fuente 3.3V/3W H- LINK	1	9.38	9.38
Fuente 5/3W H-LINK	1	10	10
Módulo relé estado sólido 4 canales	1	20.10	20.10
Relé estado sólido 25A	1	9.11	9.11
TFT 3.5' NEXTION	1	62.50	62.50
Elaboración PCB acabado profesional	1	50	50
Interruptor termomagnético ABB 25A	1	15	15
Switch de 2 posiciones	1	0.50	0.50
Fusible cerámico 2A	4	0.10	0.40
Fusible cerámico 15A	1	0.25	0.25
Porta fusibles chas	5	0.50	2.50

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
5 PQ			
Toma aérea polarizado COOPER	5	3.79	19.95
Enchufe COOPER amarillo	1	2.46	2.46
Transformadores 110/12V	5	4.60	23
Otros	1	21.65	21.65
TOTAL			454.71

Fuente: Autoría propia

El total de todos los componentes tanto eléctricos como electrónicos es de 454.71 dólares americanos, pero a este valor se le debe añadir el valor de elementos extras; como lo son cables de conexión, pernos, tuercas, tornillos, espadines y mano de obra.

Conclusiones

- Con la descripción bibliográfica se logró conocer los diferentes parámetros a considerar para el diseño e implementación de un sistema de medición de consumo eléctrico, además de reconocer las diferentes tecnologías y protocolos IoT que se puedan correlacionar mutuamente. Esta información recopilada permitió establecer los elementos necesarios que se deben incluir en el sistema y el proceso de funcionamiento que debió seguir para ser validado con relación a un medidor de energía eléctrica inteligente.
- El diseño del sistema depende en gran medida de la selección de los materiales, debido a que estos son analizados y elegidos en referencia a parámetros técnicos y de funcionabilidad. Los procesos de adquisición de datos, transmisión y almacenamiento dependen específicamente de la cantidad de memoria y velocidad de procesamiento para ejecutarlos sin obstáculos de tiempo y pérdida de información, es decir mayor capacidad mayor fluidez de trabajo en procesos asignados.
- Durante la realización de las pruebas de funcionamiento se concluyó que el sistema de medición se acerca en precisión y exactitud, esto se debe a que tiene un porcentaje de error promedio total de $\pm 6.70\%$, lectura referenciada en todos los parámetros eléctricos que fue sometido. Dicha lectura no se distancia enormemente de las lecturas reales tomadas por los instrumentos patrones, por lo que lo vuelve válido como sistema de medición de consumo de energía eléctrica. En cuanto al aspecto de la tecnología IoT, los datos recopilados se los procesa inmediatamente desde que se inicializa el sistema, su transmisión y almacenamiento se lo realiza de manera simétrica con relación de tiempo de 10 segundos de lado a lado, con la finalidad de que no exista pérdida de información durante todo el proceso de monitoreo y visualización de los parámetros de las diferentes cargas.
- La transmisión, recepción, almacenamiento y control de la información dependen de la calidad de la red WiFi, es decir si la señal es deficiente se puede inducir una mala comunicación en los tiempos de transmisión y recepción, provocando que los datos obtenidos de los dispositivos eléctricos/electrónicos y las ordenes de control predisuestas para estos tarden en ser procesados y ejecutados.

Recomendaciones

- Con la revisión bibliográfica se pudo observar que existe una amplia variedad de tecnologías y protocolos de comunicación extensas e innovadoras, pero poco aplicadas en cuanto a la aplicación del Internet de las Cosas, por lo que una investigación de estas ayudaría en gran medida impulsando su aplicación en el campo industrial como personal.
- Es fundamental reducir de una forma más compacta el circuito de adquisición de datos, con el fin de poder instalarlo en lugares de difícil acceso para el usuario, como tomacorrientes, tableros eléctricos, etc.
- Para mejorar la precisión y exactitud con respecto a la medición del parámetro de la corriente se recomienda utilizar un sensor de tipo no invasivo con tolerancia alta a la presencia de ruido y estabilidad en cuanto a las lecturas, para que no sufran fluctuaciones en las lecturas debido a la presencia de aspectos externos de la red o internos del sensor.
- Para futuras mejoras con respecto a la medición de consumo de energía con IoT se podría diseñar y construir una red mallada de comunicación, con la finalidad de que si existe el fallo de una unidad de comunicación las demás sigan intercomunicadas; permitiendo el envío y recepción de la información de una manera idónea.
- La utilización de nuevas tecnologías inalámbricas ayudaría a proporcionar mejores prestaciones en cuanto a transmisión y recepción de información a lugares más lejanos ya que tiene la capacidad de una mayor cobertura, y además de presentar fluidez, estabilidad y velocidad mucho mayor a comparación de las que se usan actualmente.

Bibliografía

- AI-Thinker. (20 de Abril de 2022). *ESP-12E WiFi Module*. Obtenido de components101: <https://components101.com/sites/default/files/2021-09/ESP12E-Datasheet.pdf>
- Alexander, C., & Sadiku, M. (2013). Valor eficaz. En *fundamentos de circuitos eléctricos* (pág. 402). Mexico: Mc Graw Hill-Education.
- Allegro. (20 de Abril de 2022). *ACS712*. Obtenido de Sparkfun: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>
- Alonso, I; Ruiz, S; Quintanilla, D; Zarcero, S. (2010). Desviación estándar. En I. Alonso, S. Ruiz, D. Quintanilla, & S. Zarcero, *Análisis Instrumental* (pág. 6). Netbiblio.S.L.
- Alonso, I; Ruiz, S; Quintanilla, D; Zarcero, S. (2010). Exactitud. En I. Alonso, S. Ruiz, D. Quintanilla, & S. Zarcero, *Análisis Instrumental* (pág. 8). NETBIBLIO.
- Amner De Paz, Hipólito León. (2007). *Diseño de un equipo para indicar el consumo de energía eléctrica, en sectores de bajos ingresos, con tecnología de microcontroladores*. Valencia.
- Aprendiendo Arduino. (29 de 03 de 2015). *Microcontrolador vs Microprocesador*. Obtenido de Aprendiendo Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/29/microcontrolador-vs-microprocesador/>
- Aprendiendo Arduino. (23 de Mayo de 2021). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de IDE Arduino y Configuración: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/ide/>
- Arduino . (25 de Mayo de 2021). *Arduino* . Obtenido de Software Arduino (IDE) : <https://www.arduino.cc/en/software>
- Arduino. (s.f.). *Arduino nano*. Obtenido de store.arduino.cc: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>
- Arduino, D. (24 de 02 de 2021). *Tabla comparativa con los tipos de microcontroladores Arduino más utilizadas en proyectos electrónicos*. Obtenido de Descubre Arduino: <https://descubrearduino.com/comparamos-varias-de-las-arduino-mas-utilizadas/>
- Arquitectura de Computadoras*. (29 de Noviembre de 2010). Obtenido de Espacio en memoria: <https://silvamondragon.wordpress.com/2010/11/29/4-1-3-espacio-en-memoria/#:~:text=Los%20usuarios%20de%20computadores%20personales,en tre%2020%20y%20512%20bytes.>
- aruba. (20 de Mayo de 2021). Obtenido de ¿QUÉ ES 802.11ax (WiFi 6)? Y por qué lo necesita: https://www.arubanetworks.com/assets/_es/so/SO_80211ax.pdf
- ASPgems. (05 de 04 de 2019). *Modelo en Espiral*. Obtenido de ASPgems: <https://aspgems.com/metodologia-de-desarrollo-de-software-iii-modelo-en-espiral/#:~:text=En%20cuanto%20a%20su%20ejecuci%C3%B3n,su%20complejidad%20con%20cada%20ciclo.>

- Azure, M. (s.f.). *Protocolos y tecnologías de IoT*. Obtenido de Microsoft Azure: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>
- Barrales R, Barrales V, Rodríguez M, Vázquez E. (2014). *Divisor de voltaje*. México: EBOOK.
- Barrio, M. (2018). *Internet de las Cosas*. Madrid: REUS.
- Bibing. (s.f.). *bibing*. Obtenido de CONTADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/10963/fichero/Archivos%252F03+Contadores+de+Energ%C3%ADa+El%C3%A9ctrica.pdf>
- Blas, D. d. (s.f.). *vulnerabilidades alarmantes en dispositivos de seguridad domesticos iot*. Obtenido de GLOBB SECURITY: <https://globbsecurity.com/un-estudio-de-hp-revela-vulnerabilidades-alarmantes-en-dispositivos-de-seguridad-domesticos-iot-internet-de-las-cosas-17002/>
- BricoGeek. (s.f.). *Sensor de corriente ACS714 - 30A*. Obtenido de tienda.bricogeek: <https://tienda.bricogeek.com/sensores/367-sensor-de-corriente-ac714-30a.html>
- Búa, M. T. (31 de 04 de 2014). *Electricidad*. Obtenido de <https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/index.html>
- Centro de Innovación y soluciones Empresariales y Tecnológicos . (15 de Mayo de 2021). *CISSET*. Obtenido de Ethernet - red de área local: <https://www.ciset.es/glosario/438-ethernet>
- CEPYMEnews. (04 de 07 de 2018). *Características y usos del Internet de las Cosas*. Obtenido de CEPYMEnews: <https://cepymenews.es/caracteristicas-usos-internet-cosas/>
- Company, T. E. (s.f.). *promelsa*. Obtenido de Medidores electricos stronger: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1003280.pdf>
- components101. (22 de Abril de 2020). *NodeMCU ESP8266*. Obtenido de components101: <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>
- cursosvega*. (2016). Obtenido de Contador de Energía: <http://cursosvega.blogspot.com/p/contador-de-energia.html>
- Delta eu*. (20 de Mayo de 2021). Obtenido de 802.11ac - Estándar de la red inalámbrica: https://shopdelta.eu/802-11ac-estandar-de-la-red-inalambrica_l6_aid898.html
- Developer*. (29 de Abril de 2012). Obtenido de Memoria en microcontroladores: <http://programacionits.blogspot.com/2012/04/memoria-en-microcontroladores.html>
- Devices, A. (s.f.). *ADE7753: Single-Phase Multifunction Metering IC with di/dt Sensor Interface*. Obtenido de <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7753.pdf>

- digitronica. (10 de Junio de 2021). *Pinza Amperimétrica AC/DC 600A EM-305A ALL-SUN*. Obtenido de digitronica: <https://www.digitronica.es/pinza-amperimetrica-ac-dc-600a-em-305a-all-sun>
- ECURED. (s.f.). *Estándares Inalámbricos*. Obtenido de ECURED: https://www.ecured.cu/Est%C3%A1ndares_Inal%C3%A1mbricos
- Edwin Peláez, Pablo Jiménez. (2018). *Diseño de un sistema de medición y monitoreo del consumo de energía por circuitos en el hogar, mediante tecnología de comunicación por línea de potencia*. Cuenca.
- electronicalugo. (s.f.). *Conceptos básicos, tipos y aplicaciones de microcontroladores*. Obtenido de electronicalugo: <https://electronicalugo.com/conceptos-basicos-tipos-y-aplicaciones-de-microcontroladores/>
- electrotec. (13 de 05 de 2021). Obtenido de Microprocesador vs Microcontrolador: <https://electrotec.pe/blog/Microvsmicro#:~:text=La%20velocidad%20de%20procesamiento%20de,m%C3%A1s%20r%C3%A1pido%20que%20los%20microcontroladores.>
- elosciloscopio. (20 de Abril de 2022). *Comparación de Arduino vs ESP8266 vs ESP32*. Obtenido de elosciloscopio: <https://elosciloscopio.com/comparacion-arduino-vs-esp8266-vs-esp32/>
- Estándares WiFi*. (2020). Obtenido de redesinalambricas.es: <https://www.redesinalambricas.es/estandares-wifi/>
- FLUKE. (22 de 12 de 2020). *¿Qué es una pinza amperimétrica?* Obtenido de FLUKE: <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/sonda-tipo-pinzas/el-abc-de-las-pinzas-amperimetricas>
- Fowler, R. (1994). Cálculo de la Potencia . En R. Fowler, *Electricidad - Principios y Aplicaciones* (págs. 41-42). Barcelona: REVERTÉ S.A.
- G, S. (05 de Agosto de 2015). *Instalar Lamp en Ubuntu 15.04 server*. Obtenido de <https://www.sololinux.es/instalar-lamp-en-ubuntu-15-04-server/>
- García, L. (27 de Noviembre de 2020). *Redes Móviles*. Obtenido de ¿Cuáles son las arquitecturas y componentes de una red IoT?: <https://redesmoviles.com/iot/arquitecturas-iot/>
- García, V. (06 de 09 de 2015). *Sensor de corriente ACS712*. Obtenido de Electrónica Práctica Aplicada: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sensor-de-corriente-ac712>
- Gerardo Valbuena, Didier Agudelo. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto con iteración al usuario basado en el concepto "Internet de las cosas"* .
- Gonzalez, O. (07 de Febrero de 2017). *Comparativa y análisis completo de los módulos Wifi ESP8266 y ESP32*. Obtenido de BricoGeek: <https://blog.bricogeek.com/noticias/electronica/comparativa-y-analisis-completo-de-los-modulos-wifi-esp8266-y-esp32/>
- González, P. (2018). *Seguridad y responsabilidad en la Internet de las cosas (IoT)*. Madrid: Wolters Kluwer España, S.A.

- Guide, D. (26 de Mayo de 2016). *Servidor LAMP: una solución económica para webs dinámicas*. Obtenido de Digital Guide: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/servidor-lamp-la-solucion-para-webs-dinamicas/#:~:text=El%20acr%C3%B3nimo%20LAMP%20est%C3%A1%20compuesto,%20Apache%20MySQL%20y%20PHP.>
- Gutierrez, T. (s.f.). *Energía Eléctrica*. Obtenido de calameo: <https://es.calameo.com/read/00385892353cddee3cd4f>
- Hubscher H, Klaue J, Pflugger W, Appelt S. (1991). *Electrotecnia - Curso Elemental*. Barcelona : REVERTÉ S.A .
- Ignacio Vargas, Paulina Bravo, Ricardo Bustamante, Beatriz Castillo, Camila Gonzales, Felipe Guzmán, Fernando Hernández, Francisco Oyarce, Álvaro Rojas. (2016). *Automatización de procesos industriales - sensores de corriente*.
- INCIBE. (25 de 04 de 2019). *La importancia de la seguridad en IoT. Principales amenazas*. Obtenido de <https://www.incibe-cert.es/blog/importancia-seguridad-iot-principales-amenazas>
- Internet Society. (11 de 11 de 2019). *Internet de las cosas*. Obtenido de <https://www.internetsociety.org/es/iot/>
- IONOS. (15 de Agosto de 2018). Obtenido de ¿Qué es Ethernet (IEEE 802.3)?: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/#:~:text=Ethernet%20designa%20a%20una%20tecnolog%C3%ADa,se%20crea%20mediante%20conexiones%20Ethernet.>
- Isabel, A; Ruiz, S; Quintanilla D; Zarcero S. (2010). Exactitud. En A. R. Isabel, *Análisis Instrumental* (pág. 8). NETBIBLIO.
- ISOTOOLS. (21 de 11 de 2018). *Norma ISO/IEC 30141 sobre Internet de las Cosas (IoT)*. Obtenido de <https://www.isotools.org/2018/11/21/norma-iso-iec-30141-internet-cosas-iot/>
- Jairo Armijos, Álvaro Pesántez. (2016). *DISEÑO DE UN MEDIDOR INTELIGENTE CON FUNCIONES*. Cuenca.
- Jairo Armijos, Álvaro Pesántez. (2016). *Diseño de un medidor inteligente con funciones de respuesta a la demanda en infraestructuras de medición avanzada*. Cuenca.
- Karen Rose, Scott Eldridge, Lyman Chapin. (15 de 10 de 2015). *La internet de las Cosas — Una breve reseña*. Obtenido de Internet Society: <https://www.internetsociety.org/es/resources/doc/2015/iot-overview/>
- Karen Rose, Scott Eldridge, Lyman Chapin. (11 de 10 de 2015). *LA INTERNET DE LAS COSAS— UNA BREVE RESEÑA*. Obtenido de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>
- Klotz, C. (10 de Octubre de 2017). *Ubidots*. Obtenido de Ubidots: <https://ubidots.com/blog/ubidots-y-nxtiot-se-asocian-para-darle-vida-a-los-objetos/>

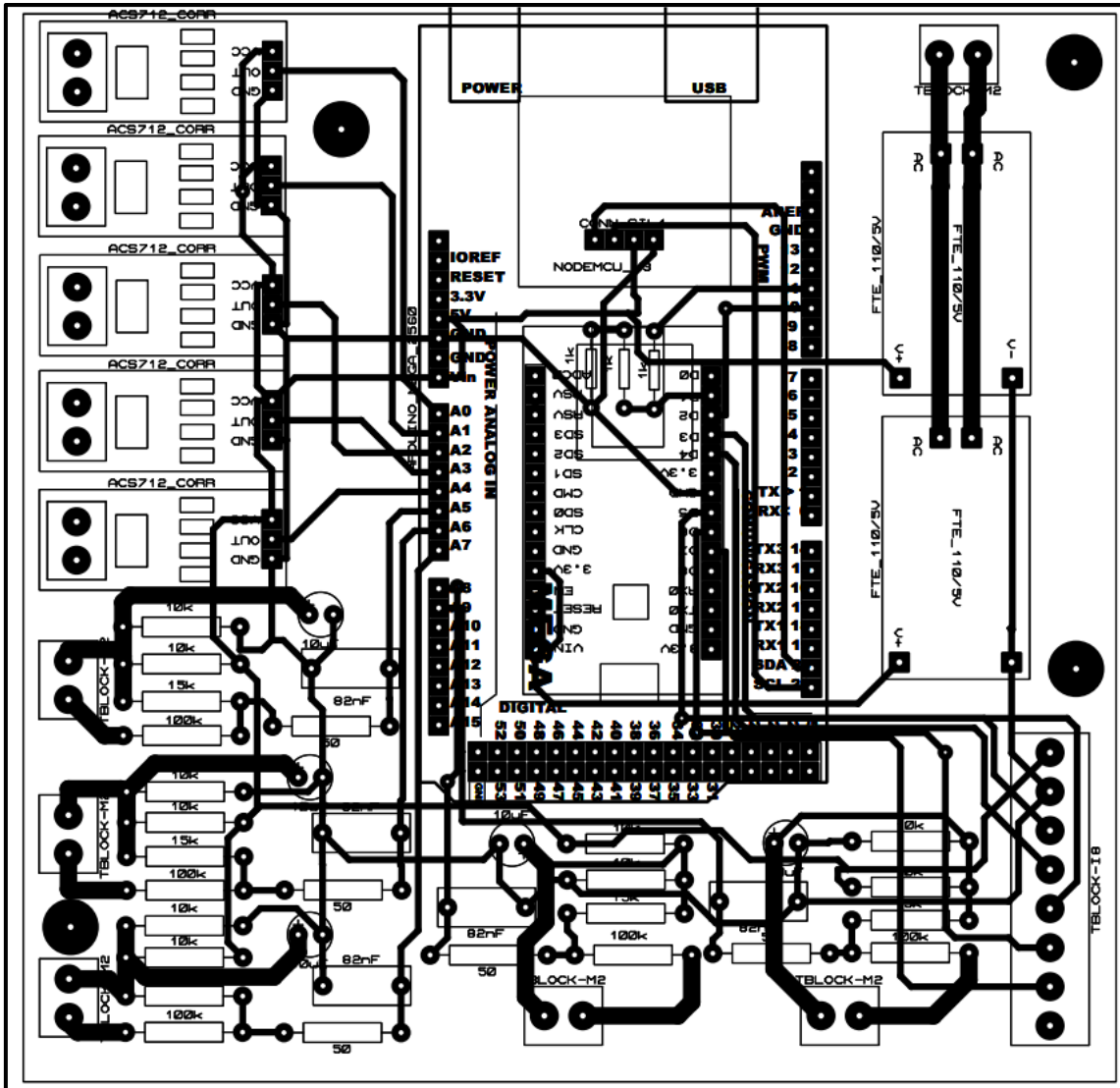
- Llamas, L. (12 de Octubre de 2020). *Cómo instalar mosquitto, el popular broker MQTT*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/como-instalar-mosquitto-el-broker-mqtt/>
- Lopez, C. (07 de 02 de 2011). *slideshare*. Obtenido de Redes eléctricas: www.monografias.com/trabajos-pdf4/redes-electricas/redes-electricas.pdf
- Lorenzo, J. (20 de 08 de 2020). *Conoce todo sobre WiFi HaLow, el estándar WiFi para IoT*. Obtenido de Redes Zone: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/wi-fi-halow-estandar-que-es-iot/>
- Manuel. (28 de Julio de 2020). *Medición de corriente no invasiva*. Obtenido de Plantas eléctricas: <https://www.luzplantas.com/medicion-de-corriente-no-invasiva/#:~:text=La%20medici%C3%B3n%20de%20corriente%20no%20invasiva%20se%20lleva%20a%20cabo,transformador%20operado%20por%20un%20inductor.&text=As%C3%AD%20es%20que%20podemos%20decir,por%20el%20flujo%20>
- Martín, F. (2015). *Monitorización del consumo eléctrico con sensores Waspote*. Leganés.
- Max. (2018). *simulación de circuitos y diseño de PCB*. Obtenido de GEEKY THEORY: <https://geekytheory.com/easyeda-software-de-simulacion-de-circuitos-y-diseno-de-pcb>
- McGovern, H. (s.f.). *¿Qué es un medidor inteligente?* Obtenido de Smartenergy: <https://www.smartenergy.com/es/que-es-un-medidor-inteligente/>
- MCI Capacitación. (18 de Junio de 2019). Obtenido de Microcontroladores y alimentación: <https://cursos.mcielectronics.cl/2019/06/18/microcontroladores-y-alimentacion/#:~:text=Hay%20cientos%20de%20microcontroladores%20por,V%20y%201.8V%20VCCs.>
- MecanicAPP. (13 de 01 de 2017). *Sensores de Efecto HALL*. Obtenido de MecanicAPP: <http://mecanicappweb.com/sensores-de-efecto-hall/>
- Mercado Libre. (23 de Mayo de 2021). *Mercado Libre*. Obtenido de Módulo Hi-Link HLK-PM03: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-430780206-be-hlk-pm03-ac-dc-modulo-fuente-de-poder-220v-to-33v-_JM#position=4&search_layout=stack&type=item&tracking_id=f7d77d1c-9e14-41da-835d-1a0275256c2e
- Mercado Libre. (s.f.). *Módulo Hi-Link HLK-10M05*. Obtenido de Mercado Libre: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-855611380-mini-fuente-hi-link-110220v-ac-a-5v-dc2a-_JM
- Molano, J. (2017). *Metamodelo para la integración de la Internet de las cosas y redes sociales*. Oviedo.
- Mora, J. (2015). *Internet De Les Coses. Microcontroladores y Single-Board Computers*.
- NANOSYSTEMS, N. E. (2008). *Internet of Things in 2020*. EPoSS.
- Nextion. (23 de Marzo de 2022). *Hojas de datos de productos Nextion*. Obtenido de nextion.tech: <https://nextion.tech/datasheets/>
- Paolis, P. D. (2014). *Filtros*. Obtenido de escuelaelectricita: <https://www.scuolaelettrica.it/escuelaelectricita/elettronica/transi3.php>

- R, J. L. (05 de Diciembre de 2020). *Como funciona un multímetro* . Obtenido de <https://como-funciona.co/un-multimetro/>
- Regino, A. (19 de 08 de 2014). *Tecnologías de comunicación inalámbrica*. Obtenido de prezi: <https://prezi.com/i7w7kwq6vgiy/tecnologias-de-comunicacion-inalambrica-bluetooth-wifi-in/>
- Robbins, A., & Miller, W. (2008). *Análisis de circuitos Teoría y práctica*. Santa Fe: Cengage Learning.
- Rodríguez, E. (2 de 08 de 2020). *Tabla resumen de las Raspberry Pi más interesantes*. Obtenido de Xataka: <https://www.xataka.com/seleccion/que-modelo-raspberry-pi-comprar-repaso-a-principales-placas-proyectos-habituales-para-dar-mejor>
- Ros, I. (17 de 03 de 2019). *Estándares WiFi: un análisis de sus nuevos nombres*. Obtenido de MC: <https://www.muycomputer.com/2019/03/17/estandares-wi-fi-nuevos-nombres/>
- Rubio, F. G. (2015). *Sostenibilidad Ambiental y Competencias Locales*. Madrid: DYKINSON S.L.
- Sabas, A. (s.f.). *Tecnologías Inalámbricas para el Internet de las Cosas*. Obtenido de SG: <https://sg.com.mx/revista/56/tecnologias-inalambricas-iot>
- Samaniego, D. (2016). *Diseño e implementación de un medidor de energía electrónico para vivienda, con orientación a la prevención de consumo y ahorro energético*. Cuenca.
- Selectra. (24 de Febrero de 2021). *Consumo Eléctrico* . Obtenido de <https://tarifaluzhora.es/info/calcular-consumo-electrico-casa>
- Sergio. (05 de Agosto de 2015). *Instalar Lamp en Ubuntu 15.04 server*. Obtenido de <https://www.sololinux.es/instalar-lamp-en-ubuntu-15-04-server/>
- solectro. (15 de Febrero de 2021). *Pantalla OLED 0,96" 128x64 Azul I2C 4 pines*. Obtenido de solectroshop: <https://solectroshop.com/es/pantalla-oled/1211-pantalla-oled-096-128x64-azul-i2c.html>
- Tabbane, S. (2018). *IoT Standards*. Bandung.
- TALEND. (09 de 04 de 2018). *Todo lo que necesitas saber sobre el IOT-Hardware*. Obtenido de NXTIoT: <https://www.nxtiot.io/index.php/2018/12/03/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-iot-hardware/>
- tecnicoo. (30 de 11 de 2018). *Contadores Inteligentes: qué son y como funcionan los contadores de luz inteligentes*. Obtenido de tecnicoo el Blog: <https://tecnicoo.es/blog/contadores-inteligentes/>
- Tecnocompras. (02 de Febrero de 2017). Obtenido de El nuevo 802.11ah conoce todo sobre "WiFi Halow": <https://tecnocompras6.webnode.com.co/news/el-nuevo-802-11ah-conoce-todo-sobre-wi-fi-halow/>
- T-systems. (02 de 04 de 2018). *Estas son las capas del internet de las cosas*. Obtenido de T-systems: <https://www.t-systemsblog.es/estas-son-las-capas-del-internet-de-las-cosas/>

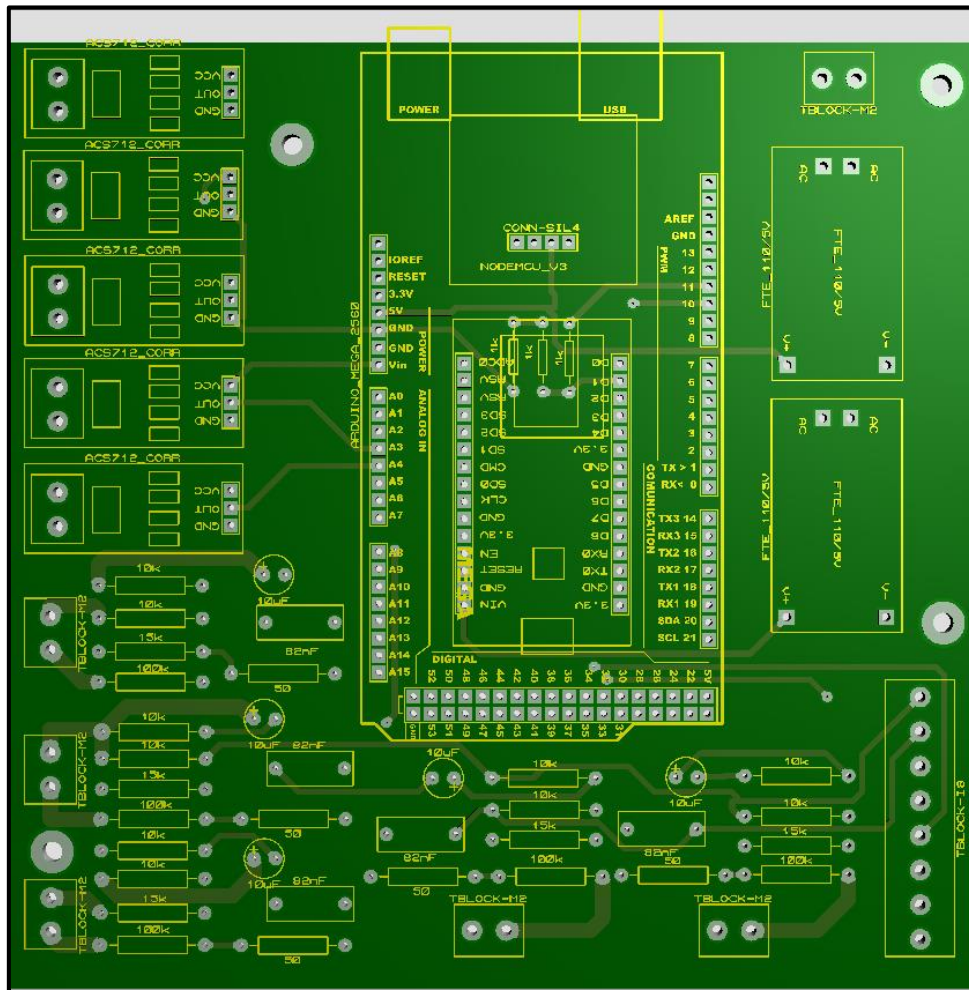
- Ubidots. (s.f.). Obtenido de Ubidots: <https://ubidots.com/>
- Universidad de Alcalá. (18 de 03 de 2019). *LOS MAYORES PROBLEMAS DEL IOT*. Obtenido de <https://www.master-internet-of-things.com/mayores-problemas-iot/>
- UTPL. (03 de 05 de 2018). *Ip, Ethernet, Internet y tecnologías de red... ¿Qué son y qué ganan con ellas?* Obtenido de UTPL: <https://noticias.utpl.edu.ec/ip-ethernet-internet-y-tecnologias-de-red-que-son-y-que-gano-con-ellas>
- Valle, M. d. (27 de 06 de 2016). *La evolución de IoT hacia la "Inseguridad de las Cosas"*. Obtenido de GLOBB SECURITY: <https://globbsecurity.com/iot-inseguridad-de-las-cosas-38898/>
- Velasco, N. (s.f.). *Microcontroladores*. Obtenido de bibing: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf>
- Wendt, Z. (31 de Mayo de 2017). *Relés de estado sólido y relés electromecánicos*. Obtenido de arrow.com: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/crydom-solid-state-relays-vs-electromechanical-relays>
- Xiamen Amotec Display CO., LTD. (29 de Agosto de 2008). *Display LCD 16x2 con Fondo Azul*. Obtenido de Unit Electronics: <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2017/06/LCD-16%C3%972-Datasheet.pdf>
- Yébenes, J. (2015). *¿Qué es MQTT?* Obtenido de Geeky Theory: <https://geekytheory.com/que-es-mqtt>
- Zambrano, A. (2017). *Uso de la plataforma Arduino y Simulink para desarrollo de aplicaciones*. Guayaquil.
- Zambrano, D. (2017). *Uso de la plataforma Arduino y Simulink para desarrollo de aplicaciones*. Guayaquil.
- Zhen, W., Yanan, Z., Feng, J., Wenjun, Y., & Lin, W. (2014). Standby power consumption estimation for energy saving service. *IEEE*, 16-21.

Anexos

Anexo A: Diseño de la placa PCB de la tarjeta electrónica de adquisición de datos.



Anexo B: Tarjeta electrónica de adquisición de datos terminada



Anexo C: Hoja de datos del sensor ACS712



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

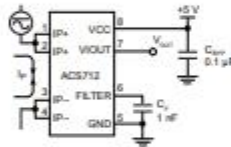
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{\text{IOUT}(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712-DS

Anexo D: Hoja de datos del relé de estado sólido

OMRON

Solid State Relay

G3MB

- Switches 2-A loads at 25°C
- DC input with AC output
- Space-saving design, ideal for high-density PCB applications
- Bottom is approximately three times smaller than Omron's G3M relay
- UL 508 recognized, CSA certified



Ordering Information

To Order: Select the part number and add the desired coil voltage rating, (e.g., G3MB-202P-DC12).

Isolation	Rated load voltage	Zero cross function	Rated input voltage	Part number
				Snubber circuit/No indicator
Phototriac	2 A at 100 to 120 VAC	No	5 VDC	G3MB-102PL-DC5
			12 VDC	G3MB-102PL-DC12
			24 VDC	G3MB-102PL-DC24
	2 A at 100 to 240 VAC	Yes	5VDC	G3MB-202P-DC5
			12 VDC	G3MB-202P-DC12
			24 VDC	G3MB-202P-DC24
		No	5 VDC	G3MB-202PL-DC5
			12 VDC	G3MB-202PL-DC12
			24 VDC	G3MB-202PL-DC24

Specifications

■ INPUT RATINGS

Ambient temperature 25° (77°F)

Type	Rated voltage	Operating voltage range	Impedance	Voltage Level	
				Must operate voltage	Must release voltage
G3MB-102PL	5 VDC	4 to 6 VDC	440 Ω, ±20%	4 VDC max.	1 VDC min.
G3MB-202P	12 VDC	9.60 to 14.40 VDC	1 kΩ, ±20%	9.60 VDC max.	1 VDC min.
G3MB-202PL	24 VDC	19.20 to 28.80 VDC	2.20 kΩ, ±20%	19.20 VDC max.	1 VDC min.

Note: Each model has 5 VDC, 12 VDC, and 24 VDC input versions.

■ OUTPUT RATINGS

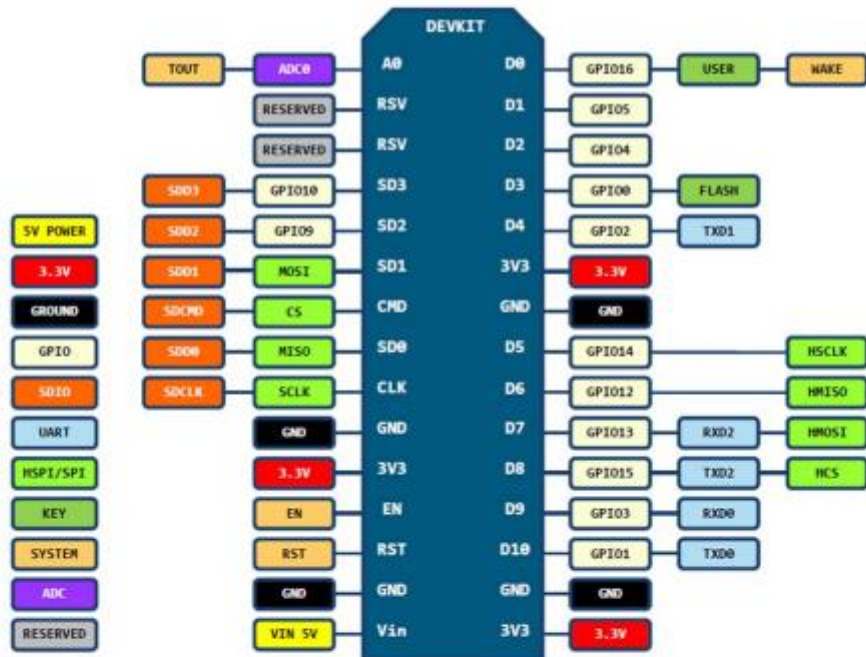
Type	Applicable load				
	Rated load voltage	Load voltage range	Load current	Surge current	
G3MB-102PL	100 to 120 VAC, 50/60 Hz	75 to 132 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)	
G3MB-202P	120 to 240 VAC, 50/60 Hz	75 to 264 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)	
G3MB-202PL	100 to 240 VAC, 50/60 Hz	75 to 264 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)	

Anexo E: Hoja de datos del NodeMCU v3.

1. Specification:

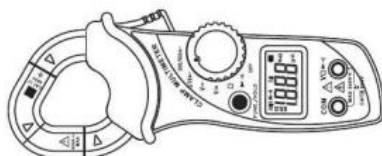
- Voltage:3.3V.
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP.
- Current consumption: 10uA~170mA.
- Flash memory attachable: 16MB max (512K normal).
- Integrated TCP/IP protocol stack.
- Processor: Tensilica L106 32-bit.
- Processor speed: 80~160MHz.
- RAM: 32K + 80K.
- GPIOs: 17 (multiplexed with other functions).
- Analog to Digital: 1 input with 1024 step resolution.
- +19.5dBm output power in 802.11b mode
- 802.11 support: b/g/n.
- Maximum concurrent TCP connections: 5.

2. Pin Definition:



3. Using Arduino IDE

Anexo F: Manual de Usuario Pinza amperimétrica ALL-SUN EM-305A



MO305 - EM305A

GB	CLAMP MULTIMETER
CZ	KLEŠŤOVÝ MULTIMETR
SK	KLIEŠŤOVÝ MULTIMETER
PL	MULTIMETR CĘGOWY
HU	LAKATFOGÓ MULTIMÉTER
SI	KLEŠČNI MULTIMETER
RS HR BA	STRUJNA KLIJEŠTA
DE	ZANGENMULTIMETER
UA	КЛЕЩІ МУЛЬТИМЕТР
RO	MULTIMETRU CLEȘTE
LT	SROVĒS MATAVIMO REPLĒS
LV	AIĻU MULTIMETRS



www.emos.cz

Anexo G: Código de programación en el Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h> // librería para comunicación por puerto Serie
const byte espRx = 10;
const byte espTx = 11;
SoftwareSerial SerialEsp(espRx, espTx); // Comunicación Serial con el módulo NodeMcu Rx, Tx

//pines adc voltaje
int vin1 = A5; //pin vin 1
int vin2 = A6; //pin vin 2
int vin3 = A7; //pin vin 3
int vin4 = A8; //pin vin 4
int vin5 = A9; //pin vin 5
//pines adc corriente
int iin1 = A0; //pin iin 1
int iin2 = A1; //pin iin 2
int iin3 = A2; //pin iin 3
int iin4 = A3; //pin iin 4
int iin5 = A4; //pin iin 5

//muestras para el voltaje y la corriente
int muestras = 0;

//datos hmi
int carga = 0;
int s = 0;
//voltajes rms
float v = 0;
float v1 = 0;
float vt1 = 0;
float vt2 = 0;
float vt3 = 0;
float vt4 = 0;
float vt5 = 0;
float vrms1 = 0;
float vrms2 = 0;
float vrms3 = 0;
```

Anexo H: Código de programación en el NodeMCU ESP8266

```
#include <ESP8266WiFi.h>           //librería para conexión wifi del NodeMCU ESP8266
#include <PubSubClient.h>         //librería de publicación/ suscripción por MQTT
#include <SoftwareSerial.h>       //librería para comunicación del puerto serial virtual entre Arduino-NodeMCU
#include "UbidotsESPMQTT.h"       //librería de publicación/ suscripción por MQTT UBIDOTS

#define SSID "MERCUSYS" // nombre de la red wifi
#define PASS "Admin@2022" // contraseña wifi
#define MQTT "192.168.1.103" // ip del raspberry
#define TOKEN "BBFF-ENNhSgKzk4cWe8QCCQB9bq41iJOVKV" // dirección de Ubidots

unsigned long tiempoMqttReconectar = 0; // tiempo inicial de reconexión MQTT
unsigned long tiempoMensaje = 0; // tiempo inicial de envío de Mensaje MQTT
unsigned long tiempoestablecido = 500; // tiempo de espera para el envío del mensaje MQTT
unsigned long tiempoestablecido1 = 10000; // tiempo de 10 seg
unsigned long tiempoenvio = 0; // tiempo de envío inicial
unsigned long tiempoestablecido2 = 10000; // tiempo de 10 seg
boolean conectarWifi = false;
boolean conectarMqtt = false;
char* ssid = SSID;
char* password = PASS;
char* mqtt_server = MQTT;
char* host = MQTT;
const uint16_t port = 80; // establecimiento del puerto de conexión para el envío a la página Web
// estructura de mensajes tipo suscripción para el control de encendido y apagado de las cargas
char* TopicoControl1 = "Medidor/Carga1/control1";
char* TopicoControl2 = "Medidor/Carga2/control2";
char* TopicoControl3 = "Medidor/Carga3/control3";
char* TopicoControl4 = "Medidor/Carga4/control4";
char* TopicoControl5 = "Medidor/Carga5/control5";
// estructura de mensajes tipo publicación para la visualización de los parámetros eléctricos
char* TopicoCorriente1 = "Medidor/Carga1/Corriente1";
char* TopicoCorriente2 = "Medidor/Carga2/Corriente2";
char* TopicoCorriente3 = "Medidor/Carga3/Corriente3";
char* TopicoCorriente4 = "Medidor/Carga4/Corriente4";
char* TopicoCorriente5 = "Medidor/Carga5/Corriente5";
```