



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE DE CONSUMO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA (SMART METERING) CON TECNOLOGÍA LORA PARA
HOGARES EN LA CIUDAD DE AMBATO**

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

ÁREA: Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la Información y Sistemas de Control

AUTOR: Bryan Alexis Sandoya García

TUTOR: Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg

Ambato – Ecuador

agosto - 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (SMART METERING) CON TECNOLOGÍA LORA PARA HOGARES EN LA CIUDAD DE AMBATO, desarrollado bajo la modalidad proyecto de investigación por el señor Bryan Alexis Sandoya García, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto 2021.

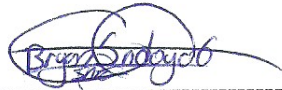
Ing. Juan Pablo Pallo, Mg

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (SMART METERING) CON TECNOLOGÍA LORA PARA HOGARES EN LA CIUDAD DE AMBATO es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2021.



Bryan Alexis Sandoya García

C.C. 180368396-8

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Bryan Alexis Sandoya García, estudiante de la Carrera de Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (SMART METERING) CON TECNOLOGÍA LORA PARA HOGARES EN LA CIUDAD DE AMBATO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, agosto 2021.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Dr. Ing. Alberto Ríos Villacorta, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

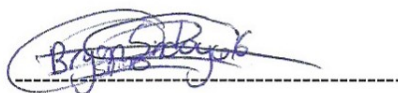
Ing. Marlon Santamaría Villacis, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, agosto 2021.



Bryan Alexis Sandoya García

C.C. 180368396-8

AUTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres Norma García y Eugenio Sandoya, por ser el pilar fundamental durante mi formación profesional, brindándome consejos, ayuda y motivación para nunca rendirme, siempre serán mi inspiración de como trabajar duro para cumplir los sueños, este logro es más suyo que mío, los amo.

A mis hermanos Danilo y Esmeralda, que sin su apoyo no hubiera sido posible este proyecto.

A Dios, por brindarme la sabiduría, gracias creador supremo por todo lo que me has concedido.

Bryan Alexis Sandoya García

AGRADECIMIENTO

Especial agradecimiento a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, a todos los docentes que me han brindado sus conocimientos durante mi etapa estudiantil, al Ingeniero Juan Pablo Pallo, por guiarme durante el desarrollo del presente trabajo.

Agradecimientos a los compañeros y amigos de la carrera con los que se ha compartido muchos momentos de alegría.

Agradecimientos a la persona que me ha dado su apoyo incondicional, y que siempre será alguien muy importante en mi vida Econ. Carolina Sevilla.

Bryan Alexis Sandoya García

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DERECHOS DE AUTOR.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2.1 Contextualización del Problema.....	5
1.2.2 Fundamentación teórica.....	6
Organización del Sector Eléctrico en el Ecuador.....	6
CNEL-EP.....	7
Empresas Eléctricas.....	7
Perdidas en Sistemas de Distribución Eléctrica.....	8
Clientes de Servicio de Energía Eléctrica.....	10
Categorías Tarifarias y Niveles de Voltaje.....	10
Tarifa Residencial.....	11
Facturación de Servicio de Energía Eléctrica.....	12
Instalación Eléctrica Domiciliaria.....	13
Smart Grid.....	14
Telegestión.....	14
Advanced Metering Infrastructure (AMI).....	14

Arquitectura AMI.....	15
Medidores de Energía Eléctrica	15
Medidores Inteligentes (Smart Meters).....	16
Aplicaciones de los Medidores Inteligentes	17
Potencia Eléctrica.....	18
Redes LPWAN.....	21
Arquitectura LPWAN	22
Tecnologías LPWAN	23
LoRa	24
Modulación LoRa	24
LoRaWAN.....	27
Elementos de una red LoRaWAN.....	28
Dispositivos Finales Basados en LoRa	28
Gateways LoRaWAN.....	29
LoRaWAN Network Server (LNS).....	29
Clases de dispositivos LoRa	31
Clase A	31
Clase B	31
Balizas en Clase B.....	31
Clase C	32
Plan de Frecuencias.....	32
Arduino.....	33
Raspberry Pi.....	33
Ubuntu Server.....	34
Node-Red.....	34
1.3 Objetivos.....	34
1.3.1 Objetivo general	34
1.3.2 Objetivos específicos.....	34
CAPÍTULO II.....	35
METODOLOGÍA.....	35
2.1. Materiales	35
2.2. Métodos	35

Modalidad de la Investigación	35
Población y Muestra	36
Recolección de Información	36
Procesamiento y Análisis de Datos	36
Desarrollo del Proyecto	36
CAPÍTULO III	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1 Análisis y Discusión de los Resultados	38
3.1.1 Desarrollo de la propuesta	38
Nodo Final	39
Gateway LoRa	40
Servidor	40
Descripción de Hardware	40
Selección del microcontrolador	41
Selección de Sensor de Voltaje	42
Selección de Sensor de Corriente	43
Selección de módulo ADC para sensor de corriente	44
Selección de pantalla	45
Selección de módulos LoRa	46
Selección de hardware para Gateway LoRa	47
Raspberry Pi 3b	48
Diseño de los Nodos Finales	49
Etapas de Adquisición de Datos	49
Etapas de Procesado de Datos	51
Etapas de transmisión	53
Gateway LoRa	54
Servidor Web	55
Instalación LAMP	57
Instalación de PhpMyAdmin	59
Instalación de Mosquitto Bróker	59
Instalación de Node-Red	60
Programación en Node-Red	61

Conexión a Mosquitto	61
Visualización de Dashboards.....	63
Conexión con MariaDB.....	67
Alertas	70
Programación de comandos para interactuar con el bot de Telegram	76
Página Web.....	77
Diseño de Circuito Impreso	79
Implementación e Instalación de los Nodos Finales	80
3.2 Verificación de Hipótesis	83
Análisis de Resultados.....	87
Pruebas de alcance de módulos LoRa	91
Pruebas de Funcionamiento del Sistema en las Viviendas.....	93
Presupuesto del Proyecto.....	108
Análisis Costo-Beneficio	109
CAPÍTULO IV	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
4.1 Conclusiones	113
4.2 Recomendaciones.....	114
MATERIALES DE REFERENCIA	116
Referencias Bibliográficas	116
ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Acometida eléctrica domiciliaria [16].....	13
Figura 2: Smart Grid [19].....	14
Figura 3: Esquema de arquitectura AMI [22]	15
Figura 4: Clasificación de los medidores de energía eléctrica.	16
Figura 5: Estructura de un medidor inteligente de energía eléctrica..	17
Figura 6: Comparación de las diferentes tecnologías inalámbricas [30]	22
Figura 7: Arquitectura LPWAN	22
Figura 8: LoRa en las capas de modelo OSI	25
Figura 9: Cambios en la señal del transmisor de fase portadora del sistema DSSS[32]	26
Figura 10: LoRa Chirp Spread Spectrum [32]	27
Figura 11: Estructura del protocolo LoRaWAN.[32].....	28
Figura 12: Arquitectura de una red típica LoRaWAN. [32].....	28
Figura 13: Arquitectura del sistema de monitoreo de energía eléctrica con tecnología LoRa.....	39
Figura 14: Partes que conforman el Nodo Final.....	40
Figura 15: Distribución de pines de Arduino Nano[40].	42
Figura 16: Sensor ZMPT101B.[44]	43
Figura 17: Sensor de corriente SCT013-000 100[46].....	44
Figura 18: Modulo ADC ADS1115 [47]	45
Figura 19: Modulo LCD 16x2[48]	46
Figura 20: Heltec WiFi LoRa 32 v2[49]	47
Figura 21: Esquema nodo final.....	49
Figura 22: Serial Plot de la lectura del sensor de voltaje ZMPT101B.	50
Figura 23: Conexión del sensor de corriente SCT013-000 100.	51
Figura 24: Diagrama de flujo del programa en Arduino Nano.	53
Figura 25: Diagrama de flujo de programación del Gateway.	55
Figura 26: Raspberry pi Imager.....	56
Figura 27: Sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi.....	56
Figura 28: Conexión física de Raspberry pi.	57
Figura 29: Página de información de PHP.	58

Figura 30: Login PhpMyAdmin.	59
Figura 31: Mosquitto bróker.....	60
Figura 32: Nodo mqtt-in, para suscripción a un tópico	61
Figura 33: Configuración del servidor MQTT	62
Figura 34: Configuración del nodo de suscripción MQTT	62
Figura 35: Suscripción exitosa del nodo mqtt al tópico de voltaje del medidor 01...63	
Figura 36: Creación de tablas y grupos para dashboards.....	64
Figura 37: Dashboards correspondientes al medidor 1.....	64
Figura 38: Grafica de voltaje en el medidor 01.....	65
Figura 39: Grafica de corriente registrado del medidor 01.....	65
Figura 40: Grafica de la potencia registrada por el medidor 01.....	66
Figura 41: Consumo de kWh registrado por el medidor 01.....	66
Figura 42: Visualización de datos recibidos por MQTT y alertas.....	67
Figura 43: Base de datos “lecturas” con sus tablas.....	67
Figura 44: Campos creados en las tablas de la base de datos “lecturas”	68
Figura 45: Nodo Mysql de Node-Red.....	68
Figura 46: Configuración del nodo Mysql en Node-Red.....	68
Figura 47: Nodo Función en Node-Red.....	69
Figura 48: Guardado en base de datos con Node-Red.....	70
Figura 49: BotFather de Telegram.....	71
Figura 50: Inicio de chat con BotFather en Telegram.	71
Figura 51: Creación y asignación de nombre al nuevo Bot.	71
Figura 52: Asignación de username para el Bot.....	72
Figura 53: Bot creado en Telegram.	72
Figura 54: Nodos Telegram en Node-Red.	73
Figura 55: Configuración de nodos Telegram en Node-Red.	73
Figura 56: Programación para envío de mensajes desde el Bot al usuario.	73
Figura 57: Programación para envío de mensaje de alerta por “Alto consumo de energía eléctrica”.	74
Figura 58: Configuración de Nodo Trigger, para que actúe como Watchdog.	75
Figura 59: Programación para envío de mensaje de alerta por corte de energía.	75
Figura 60: Configuración para asignación de comandos a un Bot en Telegram.....	76

Figura 61: Programación para el uso de comandos del Bot de Telegram.....	77
Figura 62: Portada del sitio web.	77
Figura 63: Visualización de los datos dentro de la página web	78
Figura 64: Visualización de las tablas de resumen de consumo.	78
Figura 65: Diseño de circuito impreso en Proteus.....	79
Figura 66: Ruteo de pistas del prototipo.	80
Figura 67: Fabricación de circuitos impresos.....	80
Figura 68: Caja de revisión de marca JSL para material eléctrico.	81
Figura 69: Conexiones internas del nodo final.....	81
Figura 70: Ensamblado de nodo final	82
Figura 71: Instalación de los nodos finales en las viviendas.....	82
Figura 72: Esquema de conexión del nodo final en la red eléctrica de la vivienda....	83
Figura 73: Nodos finales instalados en las viviendas.	83
Figura 74: Multímetro digital Hytais modelo TS-201	85
Figura 75: Comprobación de corriente del dispositivo 9.	86
Figura 76: Grafica de voltaje medidos por prototipo y multímetro.....	88
Figura 77: Grafica de corriente medidos por prototipo y multímetro.....	89
Figura 78: Grafica de potencia calculados del prototipo y multímetro	90
Figura 79: Alcance máximo de comunicación LoRa en el barrio Simón Bolívar, Ambato.....	91
Figura 80: Calculo de perdidas con el modelo de propagación Okumura-Hata.....	92
Figura 81: Ubicación de las viviendas donde se instalaron los nodos finales.....	92
Figura 82: Croquis de la ubicación física del sistema	93
Figura 83: Medición de voltaje en la vivienda de la familia Padilla	94
Figura 84: Medición de corriente en la vivienda de la familia Padilla	94
Figura 85: Medición de voltaje en la vivienda de la familia Echeverria.	95
Figura 86: Medición de corriente en la vivienda de la familia Echeverria	95
Figura 87: Gateway recibiendo datos desde los nodos finales	96
Figura 88: Publicación de datos en el bróker MQTT	96
Figura 89: Monitoreo de consumo de energía de cada vivienda en estudio.	97
Figura 90: Información almacenada en la base de datos del consumo de energía	98
Figura 91: Mensajes de alerta recibidos en Telegram.	98

Figura 92: Mensajes de alerta en Telegram sobre fallo en los nodos finales.	99
Figura 93: Uso de comandos para interactuar con el bot en Telegram.....	99
Figura 94: Lectura de medidores el primer día de pruebas.	100
Figura 95: Ultimas lecturas de consumo registrados por los nodos finales	101
Figura 96: Lectura de medidores último día de pruebas	101
Figura 97: Grafica del mes consumo de energía eléctrica de la vivienda 1.	103
Figura 98: Grafica del mes consumo de energía eléctrica de la vivienda 2.	103
Figura 99: Histórico de consumo de la vivienda de la Familia Padilla.	104
Figura 100: Ajuste a la curva de consumo de energía histórico de la vivienda 1. ...	105
Figura 101: Consumo del mes de abril 2021 de la vivienda 1 registrado en la empresa.	105
Figura 102: Histórico de consumo de la vivienda de la Familia Echeverria.....	106
Figura 103: Ajuste a la curva de consumo de energía histórico de la vivienda 2	107
Figura 104: Consumo del mes de abril 2021 de la vivienda 2 registrado en la empresa.	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los antecedentes investigativos.....	5
Tabla 2: Perdidas de energía eléctrica registrado en el año 2019. [13]	9
Tabla 3: Niveles de voltaje suministrado a los clientes por las empresas distribuidoras. [14].....	11
Tabla 4: Valores tarifarios únicos para empresas eléctricas enero – diciembre 2020[14]	11
Tabla 5: Ventajas y desventajas de los medidores inteligentes	18
Tabla 6: Resumen de potencias[27].....	20
Tabla 7: Tecnologías LPWAN[31].....	23
Tabla 8: Factores de ensanchamiento en LoRa[32].....	27
Tabla 9: Métodos de activación LoRaWAN[32].....	30
Tabla 10: Niveles de radiación máximo para bandas ICM según UIT-R SM. 1015- 1[33].....	32
Tabla 11: Parámetros regionales de frecuencias ICM[34].....	33
Tabla 12: Tabla comparativa de microcontroladores. [39],[40],[41]	41
Tabla 13: Tabla comparativa de sensores de voltaje. [42], [43].....	42
Tabla 14: Tabla comparativa de sensores de corriente. [45], [46]	43
Tabla 15: Tabla comparativa de ADC[47].....	44
Tabla 16: Tabla comparativa de displays[48]	45
Tabla 17: Tabla comparativa de módulos LoRa[49]	46
Tabla 18: Características de Raspberry pi modelo 3b. [50].....	48
Tabla 19: Tabla comparativa de voltaje entre prototipo y multímetro	84
Tabla 20: Tabla comparativa de voltaje entre prototipo y multímetro.	85
Tabla 21: Potencia calculada y del prototipo	86
Tabla 22: Error en medición de voltaje.....	87
Tabla 23: Error en medición de corriente	88
Tabla 24: Error en medición de potencia	90
Tabla 25: Comparativa entre consumo registrado por el prototipo y medidor	102
Tabla 26: Regresión lineal para la vivienda 1	104
Tabla 27: Regresión lineal para la vivienda 2	107
Tabla 28: Presupuesto del proyecto	108

Tabla 29: Tabla del valor de lecturas de medidores de energía SERCOP[52].....	109
Tabla 30: Valores anuales	110
Tabla 31: Calculo del Valor Actual Neto (VAN).....	111
Tabla 32: Tiempo de recuperación de la inversión.....	112

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación describe el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica para hogares con el empleo de la tecnología LoRa, el cual fue instalado en dos viviendas ubicadas en las calles Cacique Álvarez y Pablo Arenas en la ciudad de Ambato.

El sistema de monitoreo de energía eléctrica está dividido en tres partes que son: nodos finales, gateway y servidor. Los nodos finales se encuentran instalados en las viviendas en donde recogen los datos de voltaje y corriente, estas mediciones fueron comprobadas con un multímetro donde se evidencio que existía un error mínimo, luego a través de operaciones matemáticas se calculan la potencia activa y el consumo en kWh (kilovatio-hora), estos datos se transmiten por medio de modulación LoRa hacia un concentrador o gateway, este último luego de receptar la información recibida de los nodos finales la transmite hacia el servidor por medio del protocolo de red ligero MQTT, en el servidor los datos que fueron publicados previamente en el bróker mosquitto son mostrados en dashboards programados en Node-Red dentro de una interfaz web, lo cual permite el monitoreo de estas variables(voltaje, corriente, potencia y kWh) casi en tiempo real de cada vivienda, esta información también fue almacenada en una base de datos que permite tener un registro detallado del consumo, el sistema también envía alertas en caso de detectar un alto consumo o cuando exista alguna falla en el suministro de la red eléctrica de las viviendas, estos mensajes son enviados a través de la plataforma de mensajería Telegram, el sistema fue puesto a prueba durante el periodo de un mes donde al final se comprobó que las lecturas de consumo de kWh coincidan con lo registrado por el medidor de energía eléctrica de la empresa de distribución.

Palabras Claves: LoRa, consumo de energía eléctrica, node-red, MQTT, kWh, medidor de energía eléctrica, telegram

ABSTRACT

This research work describes the development and implementation of an electrical energy consumption monitoring system for homes with the use of LoRa technology, which was installed in two homes located on Cacique Álvarez and Pablo Arenas streets in the city of Ambato.

The electrical energy monitoring system is divided into three parts which are: end nodes, gateway and server. The end nodes are installed in the homes where they collect the voltage and current data, these measurements were checked with a multimeter where it was evidenced that there was a minimum error, then through mathematical operations the power and consumption in kWh (kilowatt-hour) are calculated, this data is transmitted through LoRa modulation to a hub or gateway, the latter, after receiving the information received from the end nodes, transmits it to the server through the light network protocol MQTT, on the server The data that was previously published in the mosquitto broker is shown in dashboards programmed in Node-Red within a web interface, which allows the monitoring of these variables (voltage, current, power and kWh) in almost real time for each home, This information was also stored in a database that allows a detailed record of consumption, the system also sends alerts in case of tect high consumption or when there is a failure in the supply of the electrical network of the homes, these messages are sent through the messaging platform Telegram, the system was put to the test during a period of one month where in the end it was verified that the kWh consumption readings coincide with what is registered by the electricity meter of the distribution company.

Keywords: LoRa, electric power consumption, node-red, MQTT, kWh, electric energy meter, telegram

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de Investigación

SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (SMART METERING) CON TECNOLOGÍA LORA PARA HOGARES EN LA CIUDAD DE AMBATO

1.2 Antecedentes Investigativos

La investigación se realizó en los distintos repositorios de Universidades Nacionales e Internacionales, de igual manera se recolecto información de artículos científicos de las diferentes revistas y bases de datos, encontrando información relacionada con Medidores Inteligentes, Tecnología LoRa y LoRaWAN.

En junio de 2019, en la 25th International Conference on Electricity Distribution celebrada en Madrid, André Meffe, Mauricio A. P. Prieto, Fabio Romero, Álvaro Garcez Neto, Aldo Jesus y Jose Teodoro, presentaron el artículo titulado “A LOW COST LORAWAN WIRELESS IoT SOLUTION FOR REMOTE MANAGEMENT AND ANALYSIS OF CONSUMERS’ MEASUREMENT DATA”, donde exponen una solución de bajo costo y consumo, para la medición de consumidores ubicados en regiones de difícil acceso, esto fue desarrollado para la comunidad de Sulgipe al noreste de Brasil, para un total de 150000 clientes, concluyendo que lograron una integración con los medidores ya existentes, mediante comunicación serial o mediante una lectura de un indicador LED en cada pulso de luz, lo cual supuso una reducción en el costo de operación de lectura de medidores, permitiendo un apoyo administrativo, en los procesos de facturación del servicio, al igual que en Sulgipe esto se está desarrollando también en la localidad de Daimon.[1]

En octubre 2019 en la ciudad de Campinas, Brasil, Francsico Helder, Paulo Cerdieri, Plinio Santini Dester y M. Stancanelli, presentaron su artículo “FEASIBILITY OF ALARMEVENTS UPON SMART METERING IN LORA NETWORKS”, sustentan las posibilidad de la coexistencia de eventos regulares y de alarmas, refiriéndose a eventos regulares a los usos habituales de lectura de sensores etc., y eventos de alarmas, a mensajes de emergencia que requieren alta confiabilidad en la comunicación, se estudió la viabilidad de un escenario de medición inteligente en conjunto con alarmas, se analizó el desempeño a fin de no comprometer el rendimiento en eventos regulares, el análisis se lo realizo en base a modelos matemáticos seguido de una simulación en el software NS-3, cumpliendo los estándares definidos por LoRaWAN. Concluyendo que la probabilidad de transmisión de eventos regulares y eventos de alarma disminuyen monótonamente con el número de nodos finales de alarma, existiendo un problema de coexistencia entre nodos finales dedicados a mediciones y nodos dedicados a dar alarmas.[2]

En junio de 2020, en la 8va Conferencia Internacional Sobre Tecnologías de la Información y Comunicación, celebrada en Yogyakarta, Indonesia, Alvin Yusri y Muhammad Imam Nashiruddin, en su artículo titulado “LORAWAN INTERNET OF THINGS NETWORK PLANNING FOR SMART METERING SERVICES IN DENSE URBAN SCENARIO” presento los resultados de la implementación de una red Lorawan IoT en la ciudad de Yakarta, siendo ideal para el estudio de este sistema en un ambiente urbano denso, para la planificación de esta red realizaron análisis de capacidad, cobertura, y una simulación, a lo cual concluyeron que para la implementación de la red inteligente requieren de al menos 23 gateways con valores de factor de dispersión (SF) de 7, tasa de código (CR) de 1/2/3/4, se necesitaría de una sensibilidad en el receptor mayor a -129dBm, la potencia de las señales recibidas fue de -78.84 dBm, y un promedio de SNR en toda la región de -1,05 dB.[3]

En septiembre 2020 en la ciudad de Jeju, República de Corea, los autores nepalies: Anup Marahatta, Yaju Rajbhandari, Ashish Shreshta, Ajay Singh, Anup Thapa, Seokjo Shin. Presentaron su trabajo “LORA MESH NETWORK FOR SMART METERING IN RURAL ELECTRIFICATION”, en donde hacen alusión a las ventajas significativas de los medidores inteligentes respecto a los medidores analógicos

tradicionales, pero acotan que sin embargo estos nuevos medidores aún deben enfrentar desafíos con respecto a los mecanismos de comunicación, consumo de energía y a los costos de implementación. Los dispositivos LoRa ofrecen solventar este tipo de inconvenientes y se realizó un estudio para la implementación de una red de medición de energía en zonas rurales, los autores concluyeron que a partir de la simulación realizada en el software NS2, la red en configuración mesh, cumple con las especificaciones LoRa requeridas para una óptima implementación de medidores inteligentes en microrredes rurales, sin embargo al ser solo una simulación existen limitaciones, como la imposibilidad de ser escalable durante su implementación y a partir de la simulación se determinó que una vez alcanzado el número crítico de medidores inteligentes en la red, el sistema no podrá mantener el PDR requerido por el ancho de banda limitado de los dispositivos LoRa.[4]

En marzo de 2018, en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Juan Carlos Morales, en su trabajo de titulación: “Equipo de tele medición eléctrica para clientes residenciales mediante tecnología inalámbrica”. Indica que realizó un prototipo de un medidor inteligente para el monitoreo del consumo eléctrico en una vivienda en el cantón Pelileo, mediante un microcontrolador Arduino, mediante una red GSM se comunica con el servidor y en donde se tiene las lecturas de consumo eléctrico, para el control periódico por parte del cliente y monitoreo eficaz de la empresa, concluyendo que mediante las pruebas realizadas se observó un error del $\pm 0.28\%$ en las mediciones en comparación con el instrumento patrón FLUKE 111, y en el análisis de consumo se presentaba un error del 3.8% debido a que los medidores residenciales muestran información únicamente en cifras enteras y el prototipo contó con una resolución de cifras enteras y una cifra decimal sin embargo esto no afectó a la lectura.[5]

En octubre 2018, en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Luis F. Carrasco, en el trabajo de titulación, “Sistema De Monitoreo Y Telegestión Del Consumo Eléctrico En Cargas Residenciales Basado En Una Arquitectura IoT.”, presenta el prototipo de un dispositivo para el monitoreo de las cargas eléctricas orientada al consumo residencial, en donde mide voltaje y corriente en el nodo sensor, y es enviado a un servidor en una tarjeta Raspberry, y visualización en una interfaz IoT, permitiendo

tener control del consumo energético diaria, semanal y mensualmente, permite la tele gestión para activar o desactivar el paso de energía a las cargas, y la información puede ser visualizada desde cualquier dispositivo conectado a la red de sensores.[6]

En enero de 2020, En la Universidad de las Fuerzas Armadas(ESPE) en Sangolquí, Ecuador, Fernández Paguay Maritza Paola, Uquillaz Anguisaca Jhon Fabricio, en su trabajo de titulación “Análisis de Desempeño del Estándar LORAWAN para Soluciones de Smart Campus, Implementando un Sistema de Monitoreo IoT en la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE”, el proyecto se divide en dos partes, primero se propone un estudio sobre LoRaWAN, y luego el desarrollo de servicios IoT para un Smart Campus con su respectiva implementación, en donde se recolectaron datos de variables como: temperatura, humedad, calidad del aire, radiación UV y PH del agua, teniendo acceso a toda esta información a través de una interfaz web, concluyendo que este tipo de tecnología posee un bajo consumo y tiene altas prestaciones, se utilizó un diseño centralizado de red o topología estrella, que permitió una mejor gestión de los recursos desde el nodo Gateway, presentando como inconveniente que si este nodo llegase a caer todo el sistema dejaría de funcionar.[7]

En enero del 2020, en la Universidad de las Fuerzas Armadas(ESPE) de Sangolquí, Chiriboga Torrez Ángel Trajano, en su trabajo titulado “Diseño e Implementación De Una Solución Con Tecnología Lora Para El Monitoreo De Ubicación Vehicular Con Un Aplicativo Web”, realizo un prototipo de una red de monitoreo vehicular IoT basada en el protocolo LORA, donde se evidencian la alta capacidad de transferencia de datos, con un bajo consumo de potencia y amplia cobertura, en pruebas con distancias aproximadas de un kilómetro, las mediciones de RSSI se mantuvieron entre -100 y -110 dBm luego de superar los 300 metros de distancia entre los dispositivos LORA GPS y el Gateway GPS, la implementación de la plataforma IoT con Lora demostró muchas ventajas para el monitoreo vehicular como las citadas anteriormente.[8]

En la Tabla 1, se exponen las ventajas y desventajas reunidas de los antecedentes investigativos, los cuales sirven de base para el presente trabajo sobre medición inteligente de energía eléctrica con tecnología LoRa.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los antecedentes investigativos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Los medidores inteligentes facilitan la medición de consumo en zonas de difícil acceso. • Los dispositivos LoRa consumen baja potencia. • LoRa es una tecnología diseñada para aplicaciones IoT. • LoRaWan tiene una amplia cobertura, utilizando bandas ISM 	<ul style="list-style-type: none"> • En LoRa no es recomendable tener nodos de alarmas con nodos de medición en la misma red. • En LoRaWan se necesita que el Gateway tenga una conexión permanente a internet. • En una red LoRaWan si el Gateway cae, toda la red dejara de funcionar.

Elaborado por: El Investigador

1.2.1 Contextualización del Problema

La energía eléctrica es un servicio básico necesario para cualquier actividad, y fundamental en los hogares. Las empresas distribuidoras de este servicio llevan la gestión del consumo mediante un sistema tradicional, con el empleo de medidores de energía electromecánicos el cual requiere la labor de lectura individual para la recolección de datos y considerando las grandes ventajas que ofrece la tecnología actual este proceso resulta obsoleto.

Los medidores inteligentes son dispositivos digitales que permite lecturas de consumo más precisas que los medidores electromecánicos, y además proveen ventajas significativas sobre los medidores tradicionales, permitiendo una telegestión en tiempo real y concentrar la información de cada uno de los clientes en bases de datos directamente desde el hogar del cliente hasta la empresa distribuidora.

Actualmente en muchos países de Europa occidental, los sistemas de medición inteligente están ya reemplazando a los medidores tradicionales, estos medidores se los considera como la piedra angular dentro del concepto de Smart Grid, debido a que permiten dar nuevos servicios, que actualmente con los medidores tradicionales es difícil conseguir, por ejemplo, la retroalimentación hacia los clientes sobre el uso de la energía en tiempo real.[9]

En los últimos años, ha surgido una nueva tecnología de comunicación inalámbrica llamada Low-Power Wide Área Network (LPWAN), caracterizadas por el uso de frecuencias ISM, tener amplia cobertura y un bajo consumo de energía, un ejemplo de esta tecnología es LoRa (Long Range).

En muchos países cuya densidad poblacional es muy alta tales como Indonesia o Brasil, se han hecho muchos estudios sobre la factibilidad de la implementación de redes de medidores inteligentes, con la utilización de la tecnología LoRa, incluyendo análisis de cobertura mediante simulaciones determinado, potencias, relación señal a ruido y el número de Gateways necesarios.

En Ecuador se realizó redes de medidores inteligentes con tecnologías GSM, el objetivo del presente trabajo es el desarrollo e implementación de una prototipo de red de medidores inteligentes de energía eléctrica conectados mediante una red LoRa.

1.2.2 Fundamentación teórica

Organización del Sector Eléctrico en el Ecuador

En Ecuador el sector eléctrico está regulado por la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, donde indica en el Título III.- Estructura del Sector Eléctrico, Capítulo I.- Estructura, Artículo 9.- Estructura Institucional, En el ámbito institucional presenta la siguiente estructura[10]:

- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL.
- Operador Nacional de Electricidad, CENACE
- Institutos especializados.

En el artículo 10 hace referencia a la estructura empresarial del sector eléctrico a través de: empresas públicas, empresas de economía mixta, empresas privadas, consorcios o asociaciones, empresas de economía popular y solidaria. [10]

Desde mayo 2020 la Agencia de Regulación y Control de Electricidad mediante decreto ejecutivo 1036 , fue fusionada con las Agencias de Regulación y Control Minero y la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos en una sola entidad

denominada “Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables”. [11]

La distribución y comercialización de energía eléctrica en el Ecuador está dividida en dos partes, Empresas Eléctricas y La Corporación Nacional de Electricidad CNEL-EP

CNEL-EP

Corporación Nacional de Electricidad, es una empresa pública dedicada a la distribución y comercialización de energía eléctrica dentro de un área designada[12], y que para el año 2019 representan el 49% de los clientes regulados y está conformado por:[13]

- CNEL-Bolívar
- CNEL-El Oro
- CNEL-Esmeralda
- CNEL-Guayaquil
- CNEL-Guayas Los Ríos
- CNEL-Los Ríos
- CNEL-Manabí
- CNEL-Milagro
- CNEL-Sta. Elena
- CNEL-Sto. Domingo
- CNEL-Sucumbíos

Empresas Eléctricas

Según la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano del año 2019, las empresas eléctricas tienen al 51% de los clientes regulados.[13]

Empresas eléctricas en el Ecuador[13]:

- E.E Quito
- E.E Centro Sur
- E.E Ambato
- E.E Norte

- E.E Sur
- E.E Riobamba
- E.E Cotopaxi
- E.E Azogues
- E.E Galápagos

Perdidas en Sistemas de Distribución Eléctrica[13]

Existen dos tipos de perdidas en los sistemas de distribución eléctricos, perdidas técnicas y perdidas no técnicas.

Perdidas Técnicas.- Son las producidas por las energía eléctrica sobre los equipos y elementos de la red como son: subestaciones, redes de medio voltaje, transformadores, luminarias, acometidas, medidores etc.

Estas pérdidas dependen de la topología y las características del sistema de distribución.

Perdidas no Técnicas.- Las causas de este tipo de pérdidas son de carácter comercial y administrativo, y estas son por: la ineficiente gestión y facturación, equipos de medición obsoletos o alterados, por fraude debido a conexiones ilegales de los usuarios.

En el año 2019 en el sistema de distribución se tuvo a disposición 24.866,10 GWh de energía, de la cual existió una pérdida en el sistema de 2.970,40 GWh, esta cantidad represento una perdida a nivel nacional del 11,95%.

Las unidades que presentaron más perdidas en la CNEL EP fueron en Guayaquil con 700.95 GWh, Manabí con 462.17 GWh y Guayas Los Ríos con 360.93GWh. Las perdidas presentadas en las empresas eléctricas fue la E.E. Quito que registro 284.09 GWh en pérdidas durante el 2019.

En la Tabla 2, se detalla las pérdidas que se reportaron en las empresas de distribución durante el año 2019.

Tabla 2: Perdidas de energía eléctrica registrado en el año 2019. [13]

Empresa	Disponible en el Sistema (MWh)	Perdidas del sistema (MWh)	Pérdidas Técnicas del Sistema (MWh)	Perdidas no Técnicas del sistema (MWh)	Perdidas del Sistema (%)
CNEL-Guayaquil	5.746.006,99	700.924,29	438.245,67	262.678,62	12,20
CNEL-Guayas-Los Ríos	2.571.090,07	360.926,48	215.958,10	144.968,38	14,04
CNEL-Manabí	1.950.653,44	462.274,49	189.580,44	272.694,05	23,70
CNEL-El Oro	1.332.272,94	206.434,66	123.340,09	83.094,57	15,49
CNEL-Milagro	935.733,44	141.204,55	46.614,73	94.589,82	15,09
CNEL-Sto. Domingo	794.056,22	92.036,56	59.386,33	32.650,23	11,59
CNEL-Sta. Elena	791.465,7	115.979,96	48.679,33	67.300,63	14,65
CNEL-Sucumbíos	772.777,56	60.485,3	59.839,14	646,17	7,83
CNEL-Esmeraldas	615.738,68	151.452,95	43.573,48	107.879,47	24,60
CNEL-Los Ríos	487.605,50	82.177,60	32.475,56	49.702,04	16,85
CNEL-Bolívar	96.590,01	6.602,29	6.324,63	277,67	6,84
Total, CNEL EP	16.093.990,56	2.380.499,15	1.264.017,51	1.116.481,64	14,79
E.E. Quito	4.561.063,77	284.089,74	221.483,21	62.606,53	6,23
E.E. Centro Sur	1.175.905,67	76.306,08	70.079,48	6.226,60	6,49
E.E. Ambato	713.591,70	41.382,38	40.637,50	744,88	5,80
E.E. Norte	648.978,38	59.030,63	40.285,71	18.744,91	9,10
E.E. Cotopaxi	605.784,49	52.393,63	42.945,02	9.448,61	8,65
E.E. Sur	477.070,95	32.190,73	25.481,65	6.709,08	6,75
E.E. Riobamba	418.970,91	32.521,39	23.620,28	8.901,10	7,76
E.E. Azogues	110.088,21	7.216,98	5.280,47	1.936,51	6,56
E.E. Galápagos	60.650,56	4.765,10	3.853,86	911,24	7,86
Total, Empresas Eléctricas	8.772.104,64	589.896,65	473.667,20	116.229,45	6,72
Total, General	24.866.095,20	2.970.395,80	1.737.684,71	1.232.711,09	11,95

Elaborado por : El Investigador.

Clientes de Servicio de Energía Eléctrica

Los clientes son clasificados en dos categorías: clientes regulados y clientes no regulados, en ARCONEL. En el año de 2019 se registró un total de 5.273.916 clientes a nivel nacional entre regulados y no regulados. Dentro de la clasificación de los clientes regulados, se tiene las siguientes categorías[13]:

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Alumbrado público y otros.

Según ARCONEL en 2019 existieron 4.654.883 clientes residenciales en todo el Ecuador de los cuales 2.324.715 fueron clientes de CNEC EP y 2.330.168 fueron clientes de las distintas Empresas Eléctricas.[13]

La Empresa Eléctrica Ambato contó con un total de 239.038 clientes residenciales en su zona de cobertura, los clientes de la provincia de Tungurahua eran 188.217 [13]

Categorías Tarifarias y Niveles de Voltaje

Según el pliego tarifario que rige de enero a diciembre 2020, indicó la categorización con la cual las empresas distribuidoras de energía debían establecer el tipo de tarifa a sus clientes.[14]

Categoría Residencial.- Servicio destinado exclusivamente al uso doméstico, se incluye domicilios que tengan integrada una pequeña actividad comercial o artesanal.[14]

Categoría General.- Servicio no doméstico y comprenden actividades comerciales, industriales de instituciones públicas o privadas.[14]

En la Tabla 3 se especifica los niveles de voltaje que se manejan en el Ecuador, los clientes residenciales reciben un voltaje inferior a 600 voltios y están dentro del nivel de bajo voltaje.

Tabla 3: Niveles de voltaje suministrado a los clientes por las empresas distribuidoras. [14]

Categoría	Nivel de Voltaje (NV)	Grupo	Voltaje suministrado en el punto de entrega
Residencial	Bajo		$NV < 0,6 \text{ kV}$
General	Medio		$0,6 \text{ kV} \leq NV \leq 40 \text{ kV}$
	Alto	Grupo 1 – AV1	$40 \text{ kV} \leq NV \leq 138 \text{ kV}$
		Grupo 2 - AV2	$NV > 138 \text{ kV}$

Elaborado por: El Investigador

Tarifa Residencial

Todos los clientes que estén dentro de esta categoría tarifaria deberán pagar el servicio de energía eléctrica según como se indica en el pliego tarifario para el año 2020, el consumidor debe cancelar los siguientes valores[14]:

Valor de *USD/consumidor-mes* por comercialización, este valor es independiente del consumo eléctrico.

Valor de *USD/kWh* por consumo incremental de energía eléctrica.

Los valores de *USD/Consumidor-mes* y *USD/kWh*, para el periodo de enero – diciembre 2020, se detalla en el Tabla 4, y aplicó para las siguientes empresas eléctricas: Ambato, Azogues, CNEL Bolívar, Centro sur, Cotopaxi, Riobamba, Sur. Fue determinada por ARCONEL en diciembre 2019[14].

Tabla 4: Valores tarifarios únicos para empresas eléctricas enero – diciembre 2020[14]

Rango de consumo	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/Consumidor)
Categoría:	Residencial	
Nivel de Voltaje	Bajo y mediano voltaje	1.414
1-50	0,091	
51-100	0,093	
101-150	0,095	

151-200	0,097	
201-250	0,099	
251-300	0,101	
301-350	0,103	
351-500	0,105	
501-700	0,1285	
701-1000	0,1450	
1001-1500	0,1709	
1501-2500	0,2752	
2501-3500	0,4360	
Superior	0,6812	

Elaborado por: El Investigador.

Facturación de Servicio de Energía Eléctrica

La facturación de servicio eléctrico para clientes regulados es el resultado de la suma de valores que corresponden a energía, potencia, pérdidas en transformadores, comercialización y penalizaciones por factor de potencia, como se muestra en la ecuación (1) [14]:

$$FSPEE = E + P + PIT + C + P_{Bfp} \quad (1)$$

Donde[14]:

- **FSPEE** : Factura por servicio público de energía eléctrica (USD)
- **E** : Facturación de energía consumida (USD)
- **P**: Facturación de demanda (USD)
- **PIT**: Pérdidas en Transformadores (USD)
- **C**: Comercialización (USD)
- **P_{Bfp}**: Penalización por factor de potencia bajo

Para clientes residenciales se realizará la facturación con la ecuación (2):

$$FSPEE = E + C \quad (2)$$

Los periodos de medición deben ser entre 28 a 33 días, con la condición de que se emitan 12 facturas al año[14].

Instalación Eléctrica Domiciliaria

En viviendas y edificios se considera dos tipos de instalaciones eléctricas:

Instalación de Interior: Es las conexiones internas para elementos de consumo como focos y toma corrientes[15]

Instalación de Enlace: Es la conexión entre la red de distribución de baja tensión de la empresa eléctrica y el domicilio del cliente, y consta de los siguientes elementos[15]:

- Línea de acometida.- Es la conexión con la red de distribución pública.
- Línea repartidora o alimentación general.- distribuye las líneas de energía eléctrica hacia los medidores.
- Centralización de medidores.- conjunto de medidores situados en un mismo sitio.
- Derivaciones individuales.- salidas de medidores de energía hacia instalaciones de interior de cada cliente.
- Interruptor de control de potencia.- se ubican al inicio de la derivación de cada clientes, y protegen de sobrecargas.[15]

En la Figura 1 se ilustra una instalación de enlace típica de una vivienda.

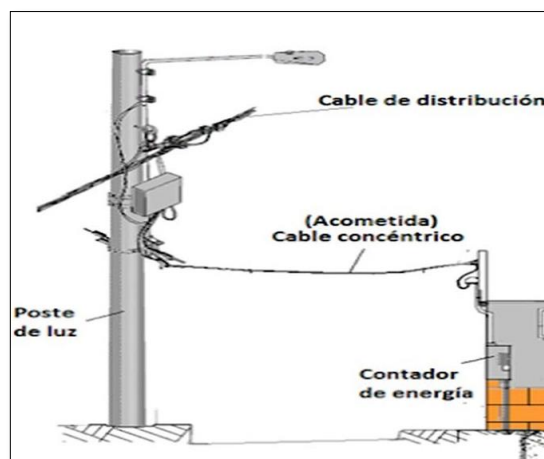


Figura 1: Acometida eléctrica domiciliaria [16]

Smart Grid

Este término se refiere a una red de distribución eléctrica inteligente, que combina las distintas tecnologías de la información con la red de distribución con la finalidad de que las empresas eléctricas obtenga los información de los consumidores y viceversa, el objetivo de esta integración es lograr un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas perdidas y altos niveles de calidad, en la Figura 2 se ilustra la finalidad de una Smart Grid[17].

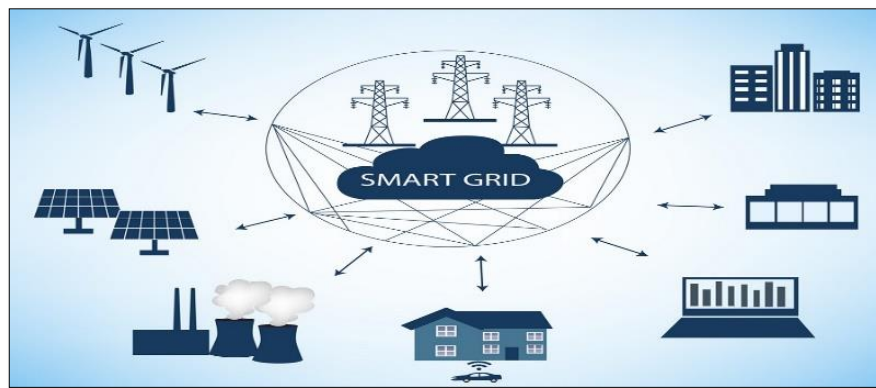


Figura 2: Smart Grid [19]

Telegestión

Es la combinación ideal de generación distribuida, Smart Grids y medidores inteligentes en una Smart City, con la finalidad de obtener información en tiempo real de cuanta energía se ha consumido y que valor se va a pagar por ello.[18].

Advanced Metering Infrastructure (AMI)

Infraestructura de medición avanzada por sus siglas en ingles es un sistema de medidores inteligentes, redes de comunicaciones y sistemas de gestión de datos que permiten una comunicación bidireccional entre empresas de servicios públicos y clientes.

El sistema proporciona una serie de funciones importantes que previamente no eran posibles o debían realizarse manualmente, como la capacidad automática de medir remotamente el uso de electricidad, conectar y desconectar el servicio, detectar manipulaciones, identificar y aislar cortes y monitorear el voltaje.[20]

Arquitectura AMI

La arquitectura AMI tiene la forma como se muestra en la Figura 3 aunque en ocasiones los medidores inteligentes pueden conectarse entre sí formando una topología en malla. Cada rama representa una subred independiente, por lo que es posible combinar distintas tecnologías de comunicación en un mismo lugar.

Las tecnologías más utilizadas en los medidores inteligentes suelen ser aquellas que no requieren de nuevos canales de comunicación, que son auto configurables aun para un alto número de nodos y suponen un bajo coste por ejemplo Zigbee, PLC, LoRa etc.

En las comunicaciones entre los concentradores situados en los centros de transformación y los sistemas de información, se suelen utilizar tecnologías robustas, de largo alcance y con mayor tasa de transmisión, como pueden ser fibra óptica, xDSL, tecnologías celulares o PLC de banda ancha.[21]

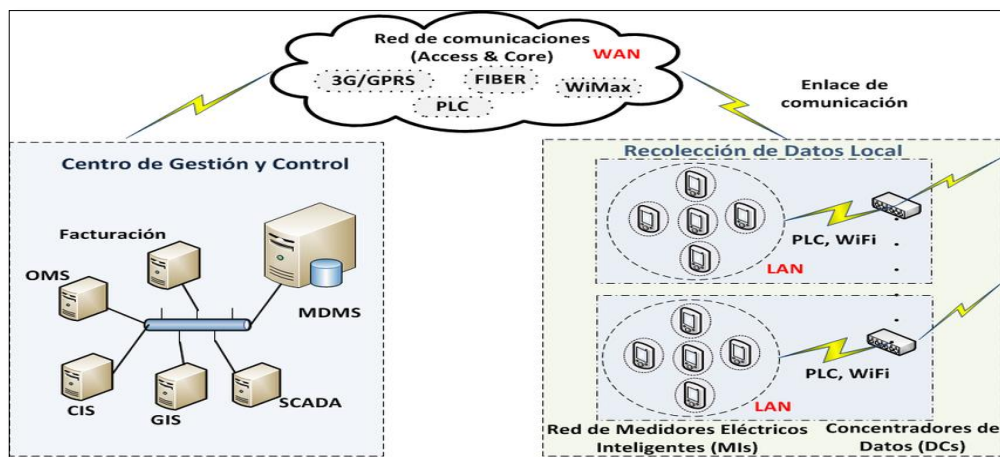
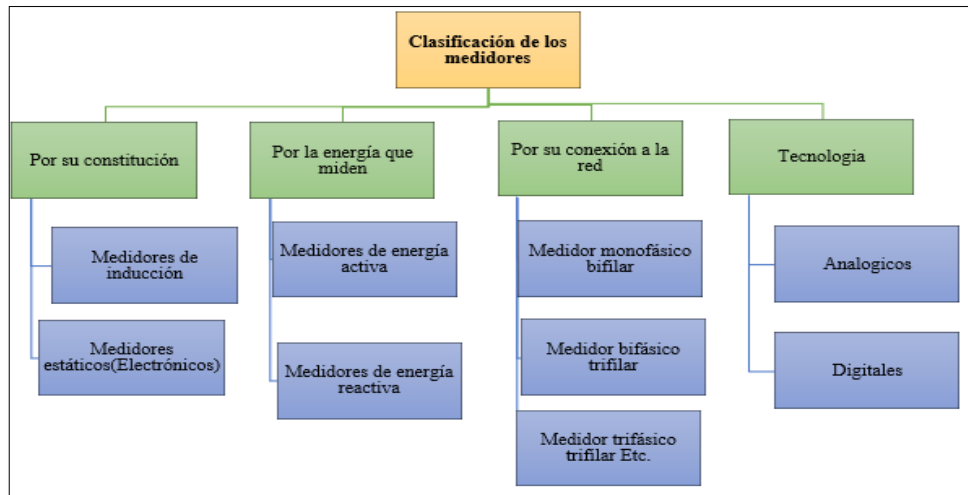


Figura 3: Esquema de arquitectura AMI [22]

Medidores de Energía Eléctrica

Los medidores de energía son equipos usados para la medida del consumo de energía. Existen varios tipos de medidores entre los más importantes están clasificados por su construcción, tipo de energía que mide, clase de precisión, conexión a la red eléctrica como se ilustra en la Figura 4.[23]



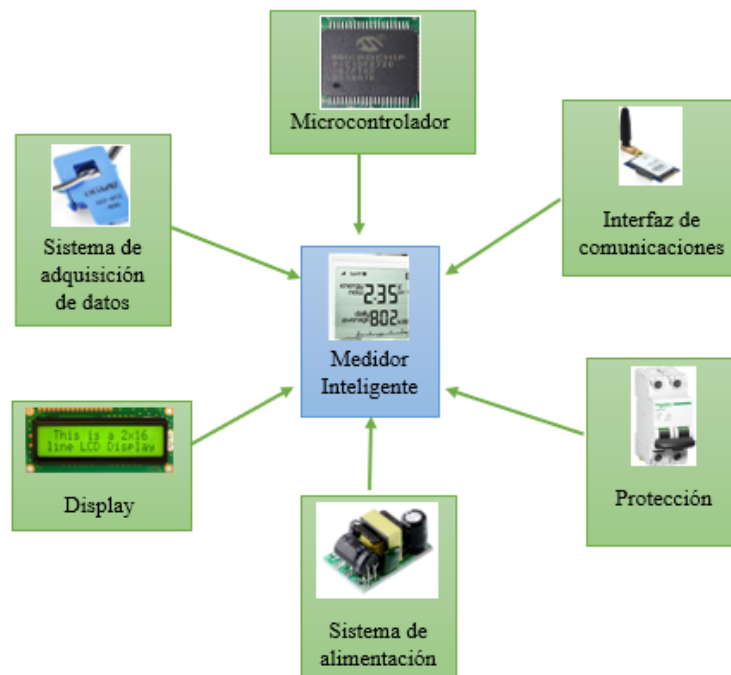
*Figura 4: Clasificación de los medidores de energía eléctrica.
Elaborado por: El Investigador.*

Medidores Inteligentes (Smart Meters)

Es un contador electrónico inteligente capaz de registrar el consumo de energía eléctrica en pequeños intervalos de tiempo comúnmente inferiores a una hora y comunicar la información procedente de ese registro a la unidad de control. Se trata, por tanto, de un instrumento que cumple la función de un sensor y de un punto de interacción simultáneamente, de un nodo inteligente.

Los beneficios que aporta el uso de Smart Meter a una red de suministro eléctrico son muy diversos, entre ellos destacan la detección de averías por parte de las compañías, así como los beneficios económicos que reportan del control y gestión de la información proporcionada. Pero el uso de estos aparatos supone también un gran avance para los clientes de la red, puesto que permite monitorizar su consumo casi en tiempo real, el conocimiento del consumo propio es uno de los pilares más importantes de cara a favorecer la eficiencia energética.[24]

La estructura típica de un medidor inteligente de energía eléctrica está formada por partes diferenciadas como se muestra en la Figura 5[24]:



*Figura 5: Estructura de un medidor inteligente de energía eléctrica.
Elaborado por: El Investigador.*

Aplicaciones de los Medidores Inteligentes

Por los beneficios que representa el uso los medidores inteligentes que son flexibles, seguros y eficientes puede ser aplicada de forma: Residencial, Comercial e Industrial.

Los objetivos de los medidores inteligentes son[25]:

- **Control de reparaciones.** Localización inmediata y oportuna de cortes energía.
- **Mantenimiento.** Extiende la vida útil de los equipos de generación de energía mediante la detección y la gestión de la tensión causada por el envejecimiento del equipo.
- **Prevención.** Detección y reducción de los cortes de energía detectando potenciales fallas en el equipo energético para prevenirlas.
- **Optimización de gastos.** Disminución del desperdicio energético mediante datos a tiempo real para equiparar la generación de energía con las necesidades energéticas.

Ventajas y Desventajas de los Medidores Inteligentes

Tabla 5: Ventajas y desventajas de los medidores inteligentes

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Se puede ajustar las pautas de consumo, ya que permite obtener el registro del perfil horario de consumo de cada cliente. • Facilita la regularidad en la facturación, favoreciendo que esta se produzca siempre sobre medidas reales y a meses naturales. De este modo, se permite a las empresas y familias controlar mejor su economía • Se permite definir con mayor rigor, el tipo de tarifa que se adapta mejor a las necesidades de cada cliente, y poder controlar con más eficiencia la tensión que nos proporciona la distribuidora ante posibles incidencias • Es posible agilizar la resolución de problemas en relación con el suministro o a la facturación.[26] 	<ul style="list-style-type: none"> • La vulnerabilidad de los sistemas de los contadores ante posibles acciones de los hackers. • La dificultad de aplicación sobre la arquitectura ya existente de distribución de energía eléctrica • El aumento del coste a los clientes por las distribuidoras en relación con estos nuevos equipos.[26]

Elaborado por: El Investigador

Potencia Eléctrica

Potencia Instantánea

Se define como la potencia suministrada a cualquier dispositivo, es el producto de la corriente y la tensión instantáneas, en función del tiempo, en la ecuación (4) se muestra el cálculo de la potencia instantánea para señales senoidales.[27]

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (3)$$

$$p(t) = Vm \cos(\omega t + \theta_v) * Im \cos(\omega t + \theta_i) \quad (4)$$

Potencia Activa o promedio (P)

Es el valor promedio de la potencia instantánea, se denota con P y no está en función del tiempo, esta es la potencia que utilizan los equipos, es la potencia deseada, su unidad es vatios (W).[27]

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (5)$$

Valor Eficaz (RMS)

También conocido como valor cuadrático medio según Hayt en su libro de Circuitos eléctricos lo define como cualquier corriente o tensión periódica que resulte igual al valor de la corriente o tensión directa que, al fluir a través de una resistencia entrega la misma potencia promedio.[27]

Voltaje eficaz o rms:

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

Corriente eficaz o rms:

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

En la práctica se utiliza los valores eficaces en los sistemas de transmisión o distribución eléctrica, ya que facilita el cálculo de potencia real.

Potencia Reactiva (Q)

Esta potencia es considerada “no deseada”, es provocada por los capacitores e inductores en la red, se denota con la letra Q, y su unidad son los voltamperios reactivos (VAR).[27]

Potencia Aparente o Compleja (S)

Es el resultado de la suma vectorial de la potencia real o promedio con la potencia reactiva, se denota con la letra S, y su unidad es el voltamperios (VA)[27]

En la Tabla 6 se muestra un resumen de potencias.

Tabla 6: Resumen de potencias[27]

Potencia	Símbolo	Formula	Unidad
Potencia Activa	P	$V_{ef}I_{ef} \cos(\theta - \phi)$	Watt (W)
Potencia Reactiva	Q	$V_{ef}I_{ef} \sen(\theta - \phi)$	Voltamperios reactivos (VAR)
Potencia Compleja	S	$P + jQ$ $V_{ef}I_{ef} \angle \theta - \phi$ $V_{ef}I^*_{ef}$	Voltamperios (VA)
Potencia Aparente	$ S $	$V_{ef}I_{ef}$	Voltamperios (VA)

Elaborado por: El investigador

Factor de Potencia

Es la medida de cuanto desperdicio de energía se ha generado en la red, si el factor de potencia es cercano a 1 significa que existe muy poco desperdicio y es una condición ideal.[27]

$$Fp = \cos(\theta v - \theta i) = |P|/|S| \quad (8)$$

Donde:

- Fp = Factor de potencia.
- θv = ángulo del voltaje
- θi = ángulo de la corriente
- $|P|$ = valor absoluto de la potencia activa
- $|S|$ = Potencia aparente

Kilovatio-hora (kWh)

Es la unidad que representa la relación entre energía y tiempo, se utiliza para medir el consumo de energía en el proceso de facturación a los clientes de la empresa distribuidora.[28]

$$E = P(W) * t(s) \quad (9)$$

Donde:

E = energía consumida

P(W) = la potencia en vatios

t(s) = el tiempo de medición u observación

Para tener la relación de kWh, se realiza la siguiente conversión:

$$E = \left[\left(P(W) \times \frac{1KW}{1000W} \right) * \left(t(s) \times \frac{1h}{3600s} \right) \right]$$
$$E = \left[\frac{P}{3600000} \right] (Kwh) \quad (10)$$

En la ecuación (10), se representa la fórmula para el cálculo de Kwh a partir de la potencia medida.

Redes LPWAN

LPWAN(Low-Power Wide-Area Network), red de área amplia a baja potencia, es la denominación al conjunto de tecnologías, que se emplean en redes de mediana y larga distancia, con baja tasa de datos y de baja potencia de operación, este tipo de redes están orientadas a aplicaciones de internet de las cosas (IoT), por lo tanto, no sirven para aplicaciones comerciales de transmisión de voz, audio o video, en la Figura 6 se tiene la comparativa de las tecnologías inalámbricas.[29], [30]

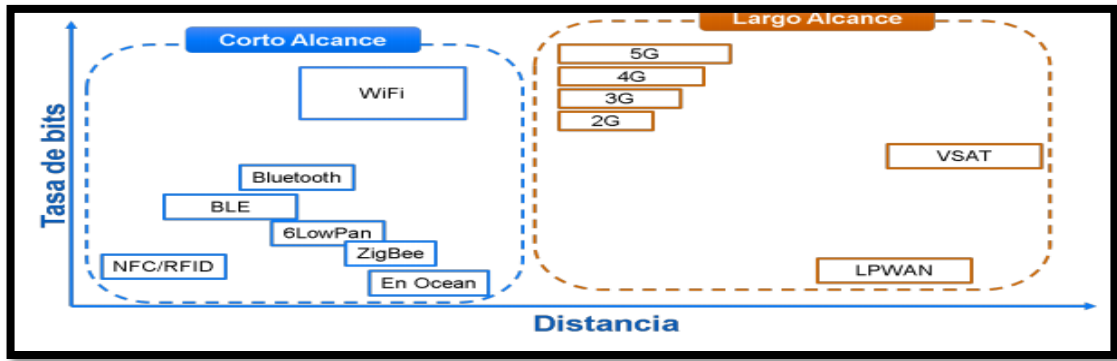


Figura 6: Comparación de las diferentes tecnologías inalámbricas [30]

Este tipo de redes permite la conexión de decenas de dispositivos a una puerta de enlace a largas distancias, los dispositivos pueden funcionar por años con una batería, este tipo de tecnologías permiten la creación de redes IoT sin necesidad de grandes estructuras y a costos más bajos.[30]

Arquitectura LPWAN

Las redes LPWAN tiene arquitectura estrella como se muestra en la Figura 7, está conformado por tres partes: nodos finales, puertas de enlaces (Gateway) y servidores los nodos finales en donde se recibe la información se conectan con un nodo enrutador o puerta de enlace el cual dirige los datos transmitidos por los nodos finales hacia un servidor en donde se podrá manipular y gestionar la información recibida.[31]

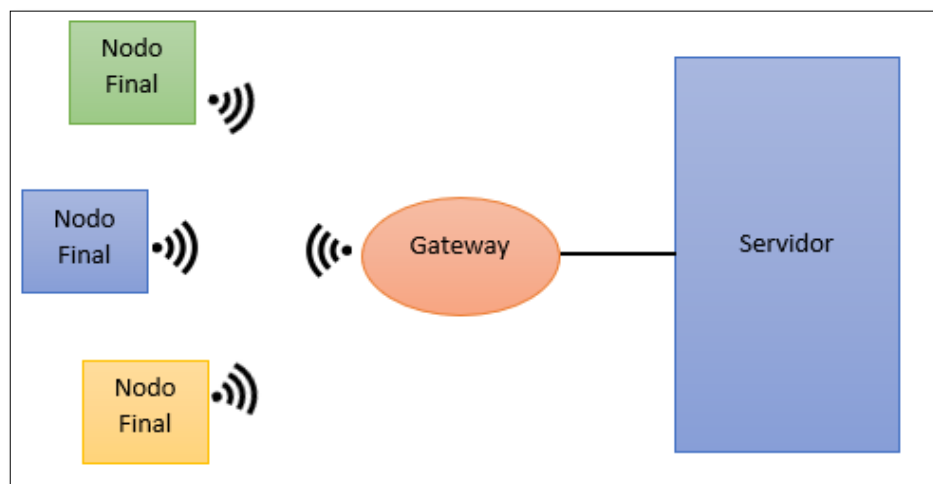


Figura 7: Arquitectura LPWAN
Elaborado por: El Investigador

Nodo Final.- Es un microcontrolador donde se mide las variables físicas mediante sensores, ejecutan alguna acción mediante actuadores y se comunican con el Gateway de forma inalámbrica.[31]

Gateway.- Son puntos centrales donde se agrupan los nodos finales, sirven de intermediario entre el nodo final y un servidor por medio de protocolos TCP/IP, regularmente comprueba el estado de la red.[31]

Servidores.- Es un conjunto de recursos informáticos en donde se gestiona y manipula los datos recibidos por los nodos finales en la red para alguna aplicación definida.[31]

Tecnologías LPWAN

Las tecnologías LPWAN más conocidas son LoRa, Sigfox y NB-IoT, todas son aplicables para red de sensores y soluciones IoT, tienen diferentes características como se detalla en la Tabla 7[31]

Tabla 7: Tecnologías LPWAN[31]

	LoRa	Sigfox	NB-IoT
Modulación	CSS	BPSK	QPSK
Frecuencia	433, 868, 915 MHz	433, 868, 915 MHz	Frecuencia LTE licenciada
Ancho de banda	125, 250, 500 KHz	200 Hz	200 Khz
Tasa de bits	50 kbps	100 bps	200 kbps
Mensajes/Día (max)	Ilimitado	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado
Tamaño máximo de payload	243 bytes	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	1600 bytes
Distancia	5 km (urbano) 20 km (rural)	10 km (urbano) 40 km (rural)	1 km (urbano) 10 km (rural)
Inmunidad a la interferencia	Muy Alto	Muy Alto	Baja

Tasa de bits adaptables	Si	No	No
Redes privadas	Si	No	No

Elaborado por: El Investigador.

LoRa

Long Range (LoRa) es una tecnología modulación RF dentro de las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN), se caracteriza por la posibilidad de crear redes de hasta 5 kilómetros en áreas urbanas y de hasta 10 kilómetros en áreas rurales

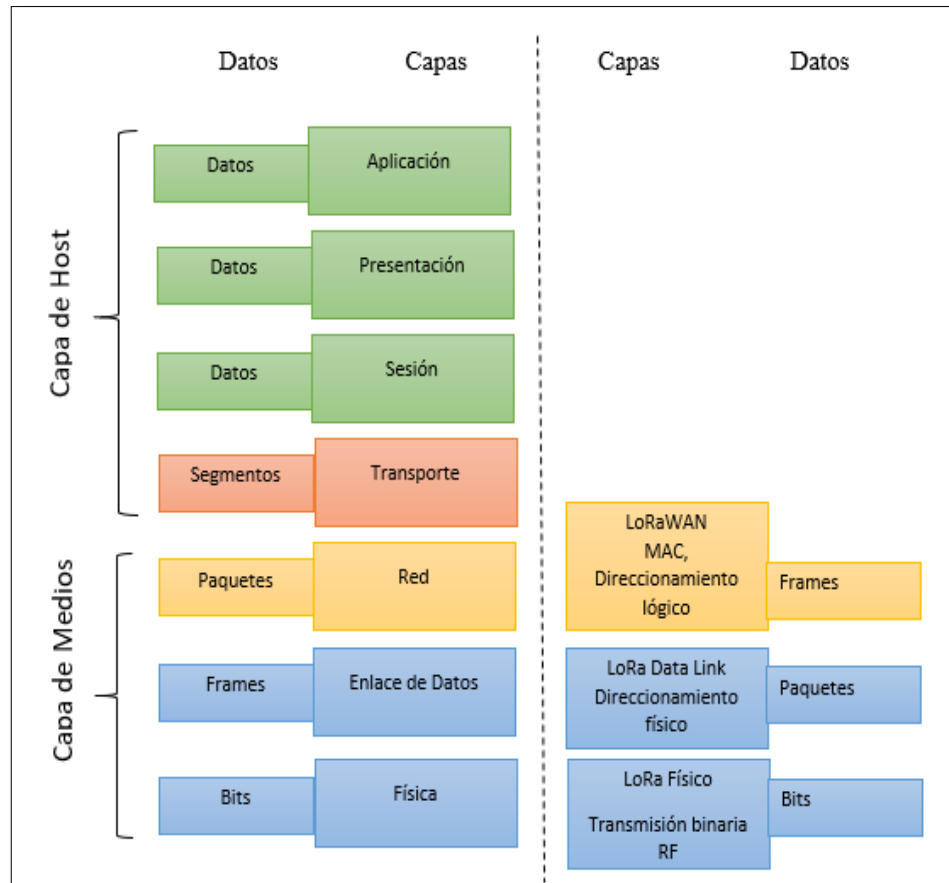
Esta tecnología de baja potencia permite operar con una batería por al menos 10 años, las principales características son: largo alcance, baja transmisión de datos, larga duración de la batería, bajo costo y gran capacidad de conexiones.[32]

Modulación LoRa

LoRa trabaja con una modulación de espectro ensanchado patentada por Semtech derivada de Chirp Spread Spectrum (CSS), existe una compensación de velocidad de datos y sensibilidad cuando funciona en un canal con ancho de banda fijo que pueden ser de 125 kHz o 500 kHz sea en canales uplink o downlink,

Esta tecnología utiliza factores de dispersión ortogonales y permite que la red realice optimizaciones adaptativas en los niveles de potencia y velocidad de datos en los nodos finales permitiendo una mayor vida útil de la batería.[32]

LoRa se encuentra en la capa física dentro del modelo OSI como se muestra en la Figura 8. Se utiliza al aire como medio de transporte de las ondas RF, desde un dispositivo LoRa hasta un gateway y viceversa.[32]



*Figura 8: LoRa en las capas de modelo OSI
Elaborado por: El Investigador*

En el espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS), la fase portadora de la señal del transmisor cambia de acuerdo con una secuencia de código como se muestra en la Figura 9. Al multiplicar la señal de datos con un patrón de bits predefinido a una velocidad mucho más alta, también conocido como código de expansión o secuencia de chip, se crea una señal más rápida que tiene componentes de frecuencia más alta que la señal de datos original.

Por lo tanto, el ancho de banda de la señal se extiende más allá del ancho de banda de la señal original. Cuando la señal transmitida llega al receptor de RF, se multiplica por una copia idéntica del código de expansión utilizado en el transmisor de RF, lo que da como resultado una réplica de la señal de datos original.[32]

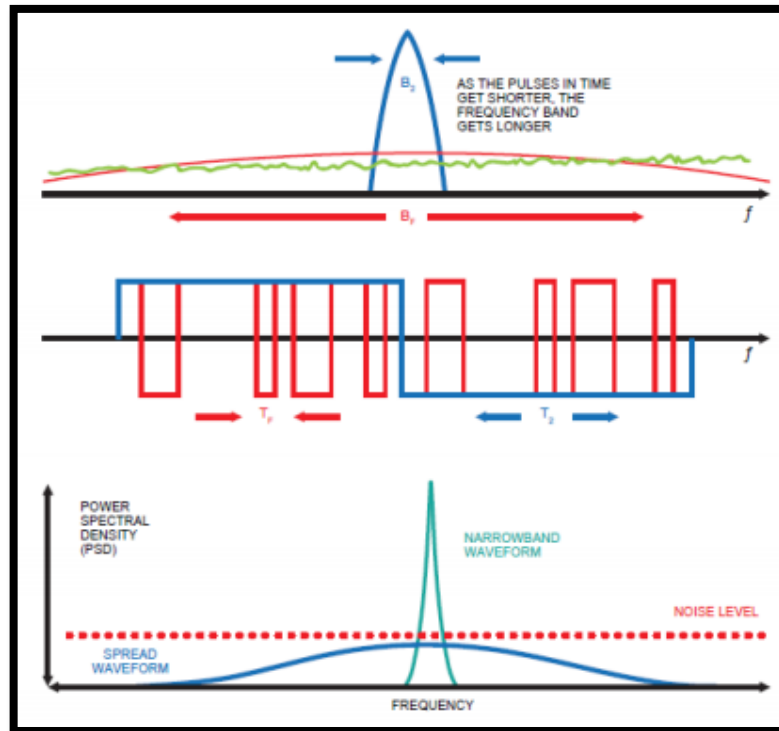


Figura 9: Cambios en la señal del transmisor de fase portadora del sistema DSSS[32]

La relación Log_{10} de la tasa de chip de la secuencia de código y la tasa de bits de la señal de datos se denomina ganancia de procesamiento (G_p). Esta ganancia es lo que permite al receptor recuperar la señal de datos original, incluso si el canal tiene una relación señal / ruido negativa (SNR). LoRa tiene un G_p superior en comparación con la modulación FSK, lo que permite un nivel de potencia de salida del transmisor reducido mientras se mantiene la misma velocidad de datos de la señal y un presupuesto de enlace similar.

Una de las desventajas de un sistema DSSS es el hecho de que requiere un reloj de referencia de alta precisión, pero en la modulación LoRa, la expansión del espectro de la señal se logra generando una señal chirp que varía continuamente en frecuencia, como se muestra en la Figura 10.[32]

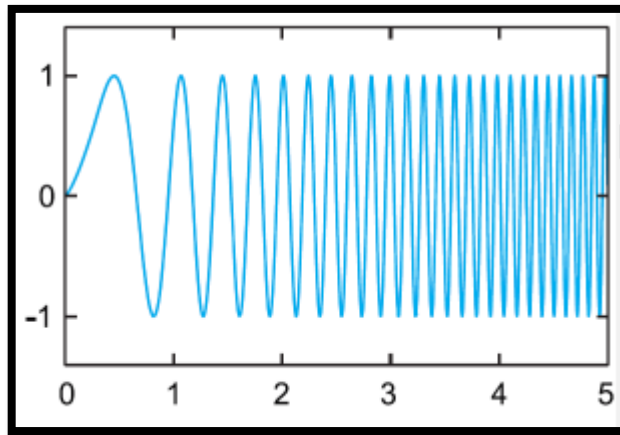


Figura 10: LoRa Chirp Spread Spectrum [32]

En LoRa, la cantidad de código de ensanchamiento aplicado a la señal de datos original se denomina factor de ensanchamiento (SF). en la Tabla 8 se muestran los factores de ensanchamiento en LoRa. Cuanto mayor sea el factor de dispersión utilizado, más lejos podrá viajar la señal y aún ser recibida sin errores por la recepción de RF

Tabla 8: Factores de ensanchamiento en LoRa[32]

Factor de Ensanchamiento (para uplink a 125 kHz)	Bit Rate	Rango (Depende del Terreno)	Tiempo en aire para 11-byte de payload
SF10	980 bps	8 km	371 ms
SF9	1760 bps	6 km	185 ms
SF8	3125 bps	4 km	103 ms
SF7	5470 bps	2 km	61 ms

Elaborado por: El Investigador.

LoRaWAN

Es un protocolo de red abierto estandarizado por LoRa Alliance, brinda los servicios de comunicación bidireccional, localización y movilidad. LoRa es la capa física para la modulación inalámbrica que permite crear enlaces de largo alcance dentro de este protocolo, en la Figura 11 se muestra la estructura del protocolo LoRaWAN.[32]

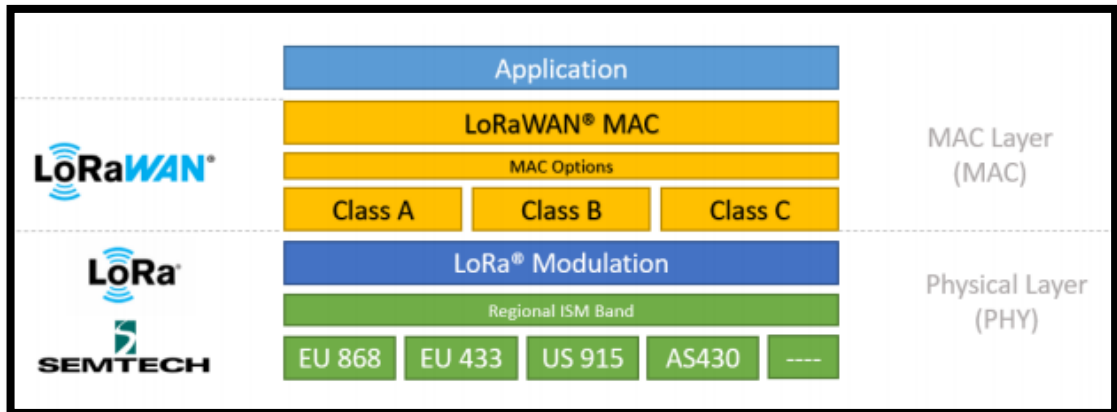


Figura 11: Estructura del protocolo LoRaWAN.[32]

Elementos de una red LoRaWAN

La estructura básica de una red LoRaWAN, sigue el modelo de las redes LPWAN, se tiene: dispositivos finales basados en lora, gateways, lora – enabled network servers, join servers, application servers y dashboards o portales de datos. En la Figura 12 se ilustra una red típica LoRaWAN.[32]

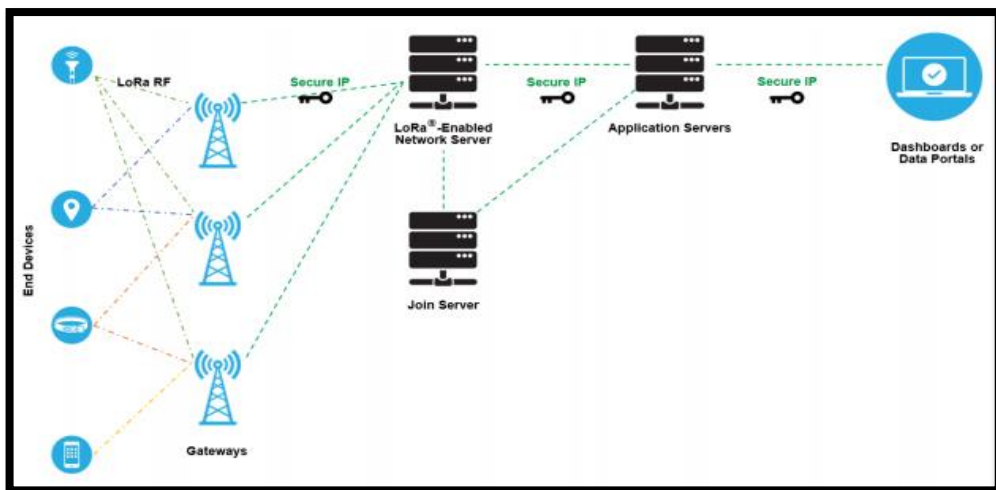


Figura 12: Arquitectura de una red típica LoRaWAN. [32]

Dispositivos Finales Basados en LoRa

Puede ser cualquier microcontrolador con sensores y actuadores, con capacidad de conexión inalámbrica a un Gateway LoRaWAN, a través de modulación RF, cada dispositivo tiene un identificador único proporcionado por el fabricante para

activación y administración segura del dispositivo y garantiza un transporte de paquetes en una red sea pública o privada, los datos entregados son cifrados.[32]

Gateways LoRaWAN

Los gateways reciben los mensajes desde cualquier dispositivo final lora que se encuentra dentro de la zona de cobertura y reenvía los mensajes a un servidor de red LoRaWAN (LoRaWAN Network Server) a través de una troncal IP.

No existe una conexión fija asignada entre un dispositivo final con un gateway, un mismo dispositivo final puede conectarse a diferentes gateways dentro de su área de cobertura y enviar los mensajes a todos los gateways que se encuentre conectado esto ayuda a disminuir la tasa de error en el envío de paquetes.[32]

LoRaWAN Network Server (LNS)

Es el servidor de red, comprueba la autenticidad de cada sensor en la red y la integridad de cada mensaje, este servidor no tiene acceso a los datos, controla dinámicamente todos los parámetros de la red, establece conexiones AES de 128 bits de extremo a extremo.[32]

Todos los servidores de red LoRaWAN deben cumplir con las siguientes características:[32]

- Comprobar la dirección del dispositivo
- Autenticación de tramas y gestión de contadores de tramas
- Reconocimientos de mensajes recibidos
- Adaptar velocidades de datos utilizando el protocolo ADR
- Responder a todas las solicitudes de capa MAC provenientes del dispositivo,
- Reenviar payloads de aplicaciones de enlace ascendente a los servidores de aplicaciones adecuados.
- Cola de payloads de downlink provenientes de cualquier servidor de aplicaciones a cualquier dispositivo conectado a la red
- Reenvío de mensajes de solicitud de unión y aceptación de unión entre los dispositivos y el servidor de unión

Servidor de Aplicaciones

Los servidores de aplicaciones son responsables de manejar, gestionar e interpretar de forma segura los datos de las aplicaciones del dispositivo final..[32]

Servidor de Unión

El servidor de unión administra el proceso de activación por aire para que los dispositivos finales se agreguen a la red. El servidor de unión contiene la información necesaria para procesar las tramas de solicitud de unión de enlace ascendente y generar las tramas de aceptación de unión de enlace descendente. Indica al servidor de red qué servidor de aplicaciones debe estar conectado al dispositivo final.[32]

Para la activación de los dispositivos finales se necesita proveer de la siguiente información al servidor de unión:[32]

- DevEUI: identificador único de serie del dispositivo final.
- AppKey: clave de cifrado de la aplicación.
- NwkKey: clave de cifrado de red.
- Identificador del servidor de aplicaciones
- Perfil de servicio del dispositivo final

El protocolo LoRaWAN tiene dos formas de activación: Over-the-air Activation (OTAA) y Activation by Personalization (ABP), la activación recomendada es OTAA, en la Tabla 9 se tiene las características de cada tipo de activación.[32]

Tabla 9: Métodos de activación LoRaWAN[32]

Over-the-air Activation (OTAA)	Activation by Personalization (ABP)
<ul style="list-style-type: none">• claves seguras se pueden renovar periódicamente• Los dispositivos pueden almacenar múltiples "identidades" para cambiar de forma dinámica y segura redes y operadores durante su vida útil.	<ul style="list-style-type: none">• La autenticación es simplificada pero menos segura.• Los dispositivos se vuelven funcionales inmediatamente después de encenderse; el procedimiento de unión se omite• Los dispositivos están vinculados a una red / servicio específico; la

<ul style="list-style-type: none"> • Hay disponibles opciones de seguridad de alta calidad a prueba de manipulaciones 	NetID es una parte de la dirección de red del dispositivo
--	---

Elaborado por: El investigador.

Clases de dispositivos LoRa

Los dispositivos lora pueden trabajar en uno de los tres modos de operación, esto depende de la clase que puede ser A, B o C.[32]

Clase A

El dispositivo final pasa la mayor parte del tiempo en un estado inactivo (Sleep mode). Cuando hay un cambio en el entorno relacionado al monitoreo que realice el dispositivo, se despierta e inicia un enlace ascendente, transmitiendo los datos (Tx). Luego, el dispositivo escucha una respuesta de la red, generalmente durante un segundo. Si no recibe un enlace descendente durante esta ventana de recepción (Rx1), se vuelve a dormir brevemente, se despierta un momento después y vuelve a escuchar una respuesta (Rx2). Si no se recibe respuesta durante esta segunda ventana de Rx, el dispositivo vuelve a dormir hasta la próxima vez que tenga datos para informar.

Esta clase no es adecuada para el manejo de actuadores debido a las pocas ventanas de escucha.[32]

Clase B

Es una mejora de la Clase A, la Clase B ofrece oportunidades de tiempo fijo y programadas regularmente para que un dispositivo final reciba enlaces descendentes de la red, lo que hace que los dispositivos finales Clase B sean adecuados tanto para sensores de monitoreo como para actuadores.[32]

Balizas en Clase B

Para que funcione el modo de comunicación de Clase B, se requiere un proceso llamado balizamiento. Durante el proceso de baliza, la red debe emitir periódicamente una baliza sincronizada en el tiempo a través de las puertas de enlace. El dispositivo final debe recibir periódicamente una de estas balizas de red para que pueda alinear su referencia de temporización interna con la red.[32]

Clase C

La Clase C siempre está energizada, es decir, no dependen de baterías. Los dispositivos de Clase C siempre están escuchando mensajes de enlace descendente, a menos que estén transmitiendo un enlace ascendente. Como resultado, ofrecen la latencia más baja para la comunicación desde el servidor a un dispositivo final.[32]

Los dispositivos finales de Clase C implementan las mismas dos ventanas de recepción que los dispositivos de Clase A, pero no cierran la ventana Rx2 hasta que envían la siguiente transmisión de regreso al servidor. Por lo tanto, pueden recibir un enlace descendente en la ventana Rx2 en casi cualquier momento. También se abre una ventana corta en la frecuencia y velocidad de datos Rx2 entre el final de la transmisión y el comienzo de la ventana de recepción Rx1.[32]

Plan de Frecuencias

LoRa opera en las banda de frecuencia ICM (ISM en inglés) que vienen de las siglas de Industriales Científicas y Médicas, en Ecuador según la norma de uso libre de espectro publicado por ARCOTEL indica que el país se acoge a los lineamientos descritos por la UIT, Ecuador está en la Región 2, en la Tabla 10 se indica los niveles de radiación permitidos en el país para las bandas ICM.[33]

Tabla 10: Niveles de radiación máximo para bandas ICM según UIT-R SM. 1015-1[33]

Banda de Frecuencia	Frecuencia Central	Intensidad de campo eléctrico (dBuV/m)
6765 – 6795 kHz	6780 kHz	80 – 100
13553 – 13567 kHz	13560 kHz	80 – 120
26957 – 27283 kHz	27120 kHz	70 – 120
40.66 – 40.70 MHz	40.68 MHz	60 – 120
902 – 928 MHz	915 MHz	60 – 120
2400 – 2500 MHz	2450 MHz	30 - 120

Elaborado por: El Investigador.

LoRa utiliza las frecuencias libres de acuerdo con la región donde se ubiquen, en la Tabla 11 se indica los planes de frecuencia de todas las regiones:

Tabla 11: Parámetros regionales de frecuencias ICM[34]

Banda	Nombre común
EU863-870	EU868
US902-928	US915
CN779-787	CN779
EU433	EU433
AU915-928	AU915
CN470-510	CN470
AS923	AS923
KR920-923	KR920
IN865-867	IN865
RU864-870	RU864

Elaborado por: El Investigador.

En Ecuador LoRa utiliza la frecuencia de 902 – 928 MHz, los planes de frecuencia que se puede asignar son US902-928, AU915-928 y AS923.[34]

Arduino

Según su portal oficial es definido como una plataforma de hardware y software libre en su mayoría basados en microcontroladores AVR, con la finalidad de facilitar su uso, muy popular por su sinnúmero de aplicaciones y proyectos, su lenguaje de programación está basado en Wiring y su software de programación (IDE), está basado en Processing.[35]

Raspberry Pi

Es definido como un ordenador simple SoC (System on Chip), de bajo costo y de un tamaño reducido, es producido por la fundación Raspberry Pi, es conocido por sus aplicaciones en proyectos de electrónica, capaz de realizar cualquier tarea como un computador común ya que cuenta con un CPU, memoria RAM, puertos de entrada y salida, conectividad a la red por ethernet o wifi, se puede instalar cualquier tipo de sistema operativo el cual funcionara desde una tarjeta SD.[36]

Ubuntu Server

Es un sistema operativo de software libre basado en Debian, siendo una distribución Linux, el mantenimiento y desarrollo está a cargo de la empresa Canonical, destinado tanto para el uso en computadoras de escritorio como en servidores web, se considera como la distribución Linux que más cuota de mercado ocupa en la actualidad, cada seis meses se publica una nueva versión con nuevas funcionalidades, y cada cierto tiempo lanzan una versión LTS(Long Term Service) con un soporte de 5 años.[37]

Node-Red

Es definida como una herramienta de programación para, hardware, APIs y servicios en líneas, su característica principal es la facilidad de conexión entre nodos permitiendo el flujo de la información, su entorno de programación está basada en navegador web, permitiendo la programación de funciones en lenguaje JavaScript, Node Red está construido sobre Node.js haciéndolo ideal para dispositivos de bajo costo como Raspberry pi o la nube, cuenta con más de 225.000 módulos en su repositorio.[38]

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Desarrollar un prototipo para medición inteligente del consumo de energía eléctrica con tecnología LoRa para los hogares de la ciudad de Ambato.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar la tecnología LoRa y la medición del consumo de energía eléctrica.
- Diseñar el sistema IOT para la medición inteligente para el consumo de energía eléctrica.
- Construir un prototipo para medición y transmisión de lecturas de consumo de energía eléctrica con tecnología LoRa

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA.

2.1. Materiales

Los materiales necesarios con los que se llevó a cabo el desarrollo e implementación del presente proyecto de investigación fueron: artículos, tesis, libros, revistas, documentación web y cualquier tipo de información relacionada al tema, además se requirió de dos casas para las pruebas de lectura por parte del prototipo de medición.

2.2. Métodos

Modalidad de la Investigación

La finalidad del presente proyecto es el monitoreo del consumo de energía eléctrica en los hogares, por medio de comunicación LoRa, de manera eficiente, por lo que se contó con las siguientes modalidades de investigación:

-Investigación Aplicada

El presente proyecto se definió como investigación aplicada, ya que se utilizó los conocimientos adquiridos durante la formación académica enfocado hacia la construcción de un dispositivo de medición inteligente de energía eléctrica.

-Investigación Bibliográfica

Se obtuvo información relevante de libros, revistas, artículos, documentación web y bases de datos científicas de diversos repositorios de las universidades del Ecuador y del mundo, que hayan tenido alguna relación con el tema de investigación y permitió la ejecución del proyecto.

-Investigación Experimental

Se realizó un conjunto de actividades con el fin de recolectar información necesaria mediante el control y medición de variables de estudio en un periodo de tiempo establecido.

-Investigación de Campo

Se realizó la comparativa con medidores existentes en las viviendas que permitan el análisis del funcionamiento del prototipo.

Población y Muestra

El presente trabajo de investigación no requirió de población y muestra, debido a que el prototipo fue desarrollado e implementado solo en dos viviendas.

Recolección de Información

Para el desarrollo de la investigación se obtuvo información de libros, artículos, proyectos de investigación previas disponibles, así mismo se realizó la recolección de información a través de la investigación de campo en hogares de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua

Procesamiento y Análisis de Datos

En el presente proyecto el procesamiento y análisis de datos se los realizó mediante la revisión de la información recabada, y se estudió de las opciones para dar solución a la problemática sobre falta de telegestión en la medición de consumo de energía eléctrica, se extrajo la información más relevante que ayudó a la ejecución de la propuesta de solución.

Desarrollo del Proyecto

La presente investigación se desarrolló, en base a las siguientes actividades:

1. Análisis de la situación actual en las redes de distribución eléctrica en la ciudad de Ambato
2. Estudio sobre el proceso de recolección de lecturas del consumo de energía eléctrica.
3. Estudio sobre medición de la energía eléctrica y tecnología LoRa.
4. Selección de hardware y software necesarios para el prototipo
5. Diseño y programación de la etapa de adquisición de datos
6. Programación de la etapa de procesado de los datos
7. Diseño y programación de la etapa de transmisión de datos

8. Desarrollo de interfaz web de monitoreo.
9. Diseño de circuito impreso y estructura física del prototipo
10. Ensamblado del prototipo
11. Pruebas de funcionamiento del prototipo completo
12. Corrección de posibles errores
13. Elaboración del informe final

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se llevó a cabo el desarrollo de la propuesta, donde se detallan las partes que conforman el sistema, los dispositivos electrónicos utilizados, los algoritmos de programación, etc. seguido del análisis de los resultados obtenidos durante el periodo de prueba.

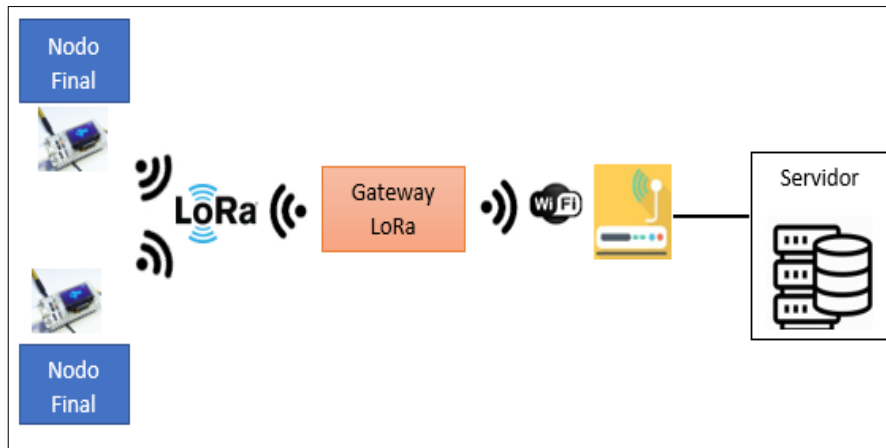
3.1 Análisis y Discusión de los Resultados

La implementación de un sistema de monitoreo inteligente de consumo de energía eléctrica en los hogares facilita la obtención de datos más relevantes, como voltaje, corriente, potencia y kilovatios-hora consumidos, permitiendo una telegestión en tiempo real, ayudando a los clientes a tener un consumo más consciente mediante el envío de alertas en caso de existir un alto consumo de energía o de existir algún fallo en la red eléctrica y también ayudando a las empresas de distribución reduciendo el empleo de personal en tareas de lectura de medidores de energía.

El prototipo se desarrolló con hardware y software libre, con elementos electrónicos disponibles en el mercado, y la instalación del prototipo en los hogares fue lo menos invasiva posible.

3.1.1 Desarrollo de la propuesta

El prototipo basa su arquitectura en las redes LPWAN, por lo tanto, está constituida por tres partes o bloques: Nodos Finales, Gateway y Servidor. Como se ilustra en la Figura 13.



*Figura 13: Arquitectura del sistema de monitoreo de energía eléctrica con tecnología LoRa
Elaborado por: El Investigador.*

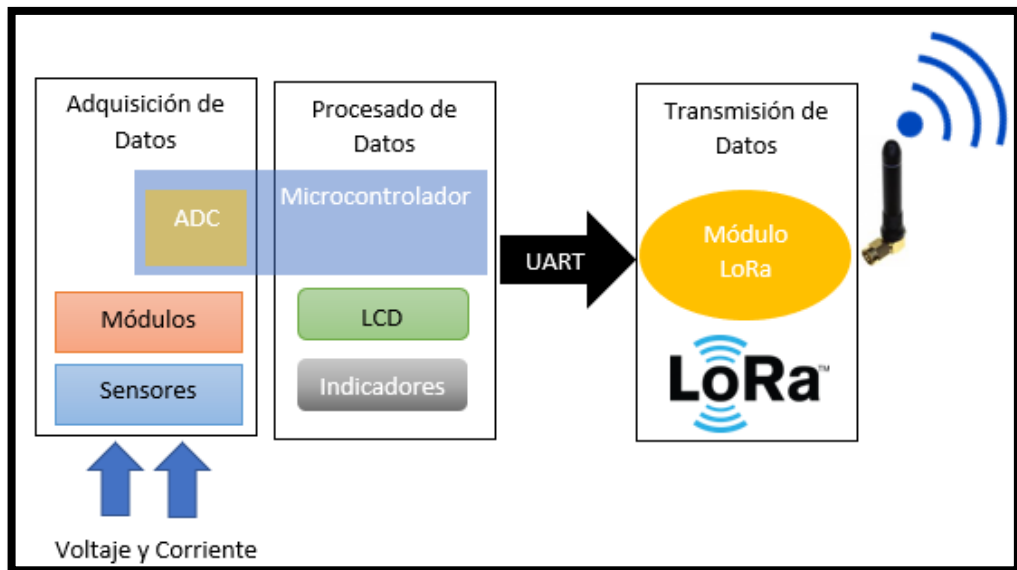
A continuación, se detalla cada parte que conforma el prototipo:

Nodo Final

Dentro de esta etapa se encuentra, dividida en etapa de adquisición de datos, procesado de datos y transmisión:

- Adquisición de datos: está conformado por sensores que transforman magnitudes físicas en señales eléctricas acondicionadas para que el ADC del microcontrolador cuantifique los datos para su procesamiento.
- Procesado de datos: esta etapa es realizada por el microcontrolador, por medio de fórmulas matemáticas, que permitan tener un estimado del consumo de energía eléctrica, presentando los datos por medio de una pantalla LCD.
- Transmisión: es realizada por el módulo LoRa, el cual recibe primero la información por parte del microcontrolador de la etapa anterior, por comunicación serial UART, y de ahí procede a la transmisión hacia el gateway LoRa, asignando un identificador.

En la Figura 14 se ilustra las partes que conforman el nodo final.



*Figura 14: Partes que conforman el Nodo Final.
Elaborado por: El investigador.*

Gateway LoRa

Es el dispositivo que recibe los datos enviados por los nodos finales los cuales tienen un identificador, con lo cual el gateway procesa los datos y los publica en el bróker MQTT alojado en el servidor.

Servidor

Es el hardware y software que gestiona toda la información proporcionada por el gateway LoRa, contiene el bróker MQTT Mosquitto, Servidor LAMP y Node Red, interactúa directamente con el cliente a través de una interfaz web.

Descripción de Hardware

Nodo final

Es el conjunto de dispositivos electrónicos, desarrollado para ser implementado en las viviendas, en donde a través de sensores adquieren los datos necesarios para ser procesados y transmitidos por medio de modulación LoRa hacia el gateway.

Selección del microcontrolador

El microcontrolador es la unidad donde se recolectará y procesara los datos adquiridos por los sensores, de acuerdo con las necesidades del prototipo, en la Tabla 12 se analizó las características de diferentes microcontroladores:

Tabla 12: Tabla comparativa de microcontroladores. [39],[40],[41]

Microcontrolador	Arduino Mega	Arduino Nano	NodeMCU ESP8266	NodeMCU ESP32
Núcleo	ATmega 2560	ATmega 328	ESP8266	ESP32
Voltaje de operación (V)	5	5	5(regulador integrado a 3.3)	5(regulador integrado a 3.3)
I/O Digitales	54	22	17	24
Voltaje de I/O (V)	5	5	3.3	3.3
Entradas Analógicas	16	8	1	18
Memoria Flash	256 Kb	32Kb	4Mb (externa)	4Mb
SRAM	8 Kb	2 Kb	32 Kb	520 Kb
EEPROM	4 Kb	1 Kb	512 b	512 b
Frec. De Reloj	16 Mhz	16 Mhz	80Mhz/160Mhz	240Mhz
Comunicaciones	UART/SPI /I2C	UART/SPI /I2C	UART/SPI/I2C/ WIFI	UART/SPI/I2C/WIFI /Bluetooth
Dimensiones (cm)	10.15 x 5.3	1.8 x 4.5	4.9 x 2.6	5.5 x 2.8
Precio	\$15	\$5.50	\$12	\$15

Elaborado por: El Investigador.

Luego de haber analizado las características de los distintos microcontroladores se determinó que la opción más conveniente es Arduino Nano ya que se ajusta a los requerimientos necesarios, con interfases UART/SPI/I2C, convertor análogo, memoria EEPROM suficiente para la aplicación, sus dimensiones permiten una mejor integración, en la Figura 15 se puede observar la distribución de pines del Arduino Nano(ver Anexo D), su precio es el más bajo de entre los demás microcontroladores.

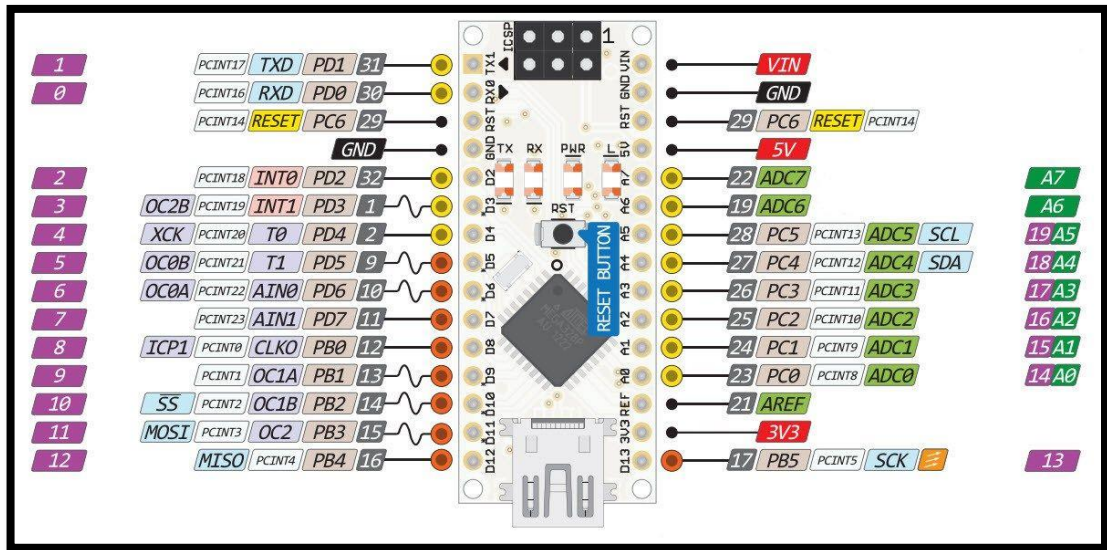


Figura 15: Distribución de pines de Arduino Nano[40].

Selección de Sensor de Voltaje

La adquisición de datos de voltaje de la red eléctrica lo realiza el sensor de voltaje AC, el cual permitirá al microcontrolador realizar los cálculos necesarios para determinar el consumo de energía eléctrica, en la Tabla 13 se observa la comparativa de los sensores de voltaje disponibles en el mercado.

Tabla 13: Tabla comparativa de sensores de voltaje. [42], [43]

Sensor	ZMPT101B	FZ0430	Transformador (110V a 12V)
Alimentación	5 Vdc	5 Vdc	-
Voltaje que mide	CA	CC	CA
Voltaje de entrada	250 Vac (max)	25 Vdc (max)	110 Vac
Voltaje de salida	5Vac (ajustable)	5 Vdc	12 Vac
Precio	\$7.50	\$5	\$8

Elaborado por: El Investigador.

El sensor seleccionado luego del análisis de la Tabla 13 fue ZMPT101B, es un módulo con transformador de salida ajustable por potenciómetro lineal y acondicionada con un amplificador operacional, ofrece una entrada VAC de hasta 250V, y una salida senoidal de hasta 5V que va conectada al microcontrolador, su tamaño es reducido de

fácil integración, no necesita de circuitería externa, y dispone de múltiples librerías para su programación en el microcontrolador, como se muestra en la Figura 16.



Figura 16: Sensor ZMPT101B.[44]

Selección de Sensor de Corriente

El sensado de corriente se lo puede realizar de distintas maneras como por ejemplo efecto Hall o transformadores de corriente, en la Tabla 14 se realiza la comparativa de los sensores de corriente ideales para el uso con microcontroladores.

Tabla 14: Tabla comparativa de sensores de corriente. [45], [46]

Sensor	TA12-100	ACS712	SCT013-000 100
Alimentación	5Vdc	5Vdc	-
Corriente de entrada	0-5 A	0-30 A	0-100 A
Salida	0-1Vpeak	0-3Vdc	0-50mA
Sensibilidad	-	100mV/A	± 1%
Resistencia interna	-	1.2mOhm	62Ohm
Invasivo	no	si	no
Precio	\$5	\$4.50	\$10

Elaborado por: El Investigador.

Terminado el análisis de la Tabla 14 se seleccionó el sensor SCT013-000 100, por el rango de 0-100A, es un transformador de corriente no invasivo en forma de broche que puede instalarse fácilmente, su salida es de 0-50mA, al cual conectándole en paralelo entre sus terminales una resistencia de 20 Ohms se obtiene una salida de 0-1V, para reducir el error en las lecturas se acompaña de un ADC externo, como se muestra en la Figura 17 (Ver Anexo F).



Figura 17: Sensor de corriente SCT013-000 100[46]

Selección de módulo ADC para sensor de corriente

Para un mejor acondicionamiento de la señal de entrada se eligió entre el ADC interno del microcontrolador o un ADC externo se realizó una comparación en la Tabla 15.

Tabla 15: Tabla comparativa de ADC[47]

ADC	ADC (Arduino Nano)	ADS1115
Resolución	10 bits	16 bits
Canales	8	4 (2 diferenciales)
Interfaz de comunicación	-	I2C
Amplificador de ganancia programable	NO	SI

Elaborado por: El Investigador.

Para el diseño del prototipo se eligió utilizar el ADS1115 que se ilustra en la Figura 18, debido a la mayor resolución del convertidor análogo-digital, permitiendo un mejor

muestreo de los datos adquiridos por el sensor con mayor precisión, tiene un amplificador de ganancia programable, e interfaz de comunicación por I2C, representando una ventaja al liberar de procesos al microcontrolador (ver Anexo G).

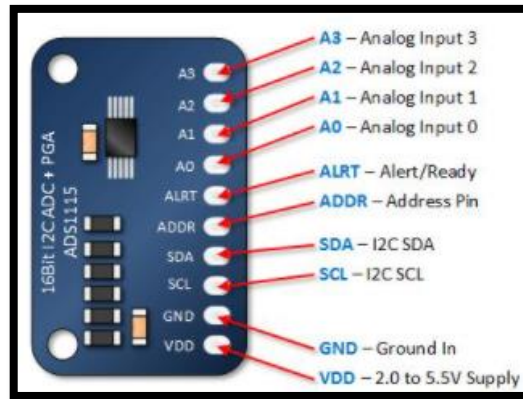


Figura 18: Modulo ADC ADS1115 [47]

Selección de pantalla

Para la visualización de los datos adquiridos y procesados por el microcontrolador se requiere de una pantalla, en la Tabla 16, se observa las características de los módulos más utilizados.

Tabla 16: Tabla comparativa de displays[48]

Display	LCD 16 x 2	Oled
Resolución	32 caracteres	28x64
Táctil	No	No
Color	Monocromático	Monocromático
Costo	\$4	\$7
Comunicación	Bus de datos, I2C	I2C

Elaborado por: El Investigador

Para la aplicación en el prototipo se eligió al display LCD 16x2 que se muestra en la Figura 19, para una visualización clara y sencilla, permitiendo la presentación de los datos por parte del microcontrolador.

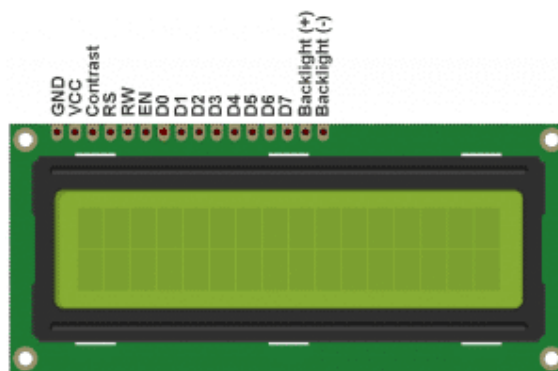


Figura 19: Modulo LCD 16x2[48]

Selección de módulos LoRa

Para la transmisión de información por medio de tecnología LoRa, se realizó un análisis de las características en la Tabla 17 de los distintos módulos existentes en el mercado tomando en cuenta la frecuencia en la que trabajan según la región en el caso de Ecuador 915Mhz.

Tabla 17: Tabla comparativa de módulos LoRa[49]

Dispositivo	Lora Shield Dragino	Heltec WiFi LoRa 32 (v2)	TTGO LoRa 32
CPU	-	ESP32	ESP32
Chip LoRa	SX1276/SX1278	SX1276/SX1278	SX1276/SX1278
LoRaWan	Si	Si	Si
Potencia de salida máxima LoRa	20dBm	19.5dBm ± 1dB	19dBm ± 1dB
Comunicaciones inalámbricas	LoRa	LoRa/WiFi/Bluetooth	LoRa/WiFi/Bluetooth
Interfaz Antena	Coaxial SMA	IPEX	IPEX
Display	No	Oled	Oled
Batería	No	Si	Si
Librerías del fabricante	No	Si	No
Temperatura de operación	-40 a 80°	-40 a 80°	-40 a 80°

Elaborado por: El Investigador.

Luego del análisis de los módulos que se ajusten al proyecto, se descartó el LoRa Shield de Dragino ya que el microcontrolador base es Arduino Nano y este módulo está diseñado para trabajar con Arduino Uno o Mega. Los módulos Heltec y TTGO presentan características muy similares ambos están basados en un chip ESP32, poseen chip LoRa SX1276 o SX1278 y trabajan en cualquier frecuencia ISM incluyendo la de 915Mhz, finalmente se eligió al módulo Heltec Wifi LoRa 32 v2, por poseer mayor documentación y librerías propias del fabricante que permiten una fácil programación, en la Figura 20 se puede observar las partes y distribución de pines(ver Anexo H).

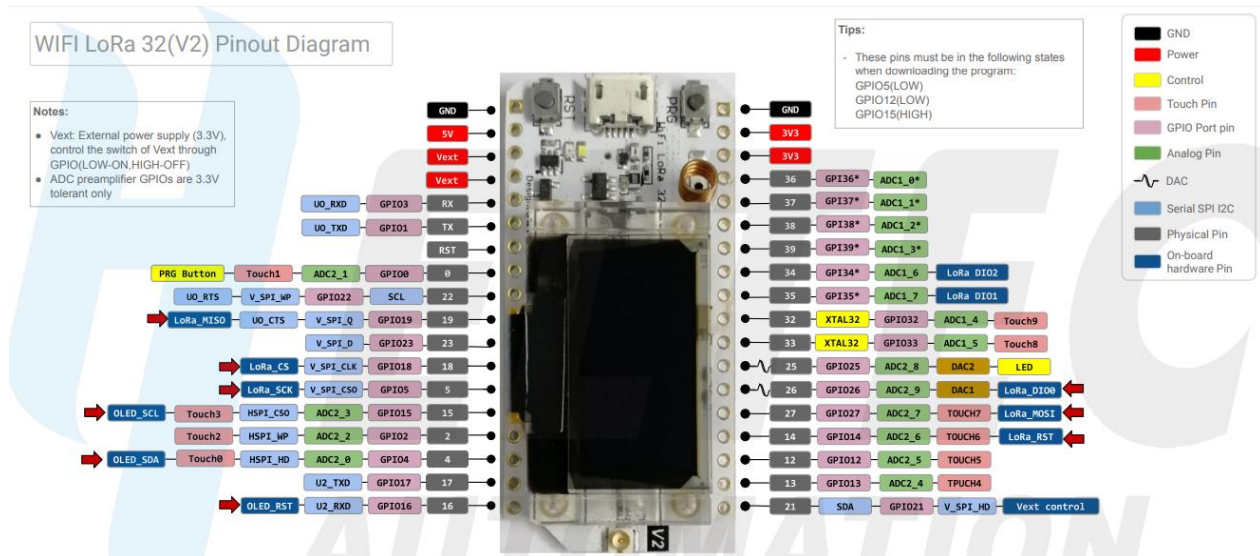


Figura 20: Heltec WiFi LoRa 32 v2[49]

Selección de hardware para Gateway LoRa

El módulo Heltec WiFi LoRa 32 se eligió como dispositivo para la etapa de transmisión de datos, y también como Gateway LoRa, por sus características y poseer comunicaciones inalámbricas tanto LoRa como WiFi, este último permitiendo una conexión con una red local.


Selección de hardware para servidor

Para la selección de hardware del servidor se tomó en cuenta que debe estar siempre en funcionamiento las 24 horas, por lo cual se eligió realizarlo en un hardware simple solo dedicado a esta tarea, siendo la opción más idónea Raspberry Pi, debido a su versatilidad y a la facilidad de instalación de un sistema operativo como Ubuntu Server 20.10.

Raspberry Pi 3b

El modelo elegido fue Raspberry pi modelo 3 b, basado en un microprocesador ARM, lanzado en el año 2016, posee una arquitectura de 64bits compatible con la mayoría de los sistemas operativos, sus características están detalladas en la Tabla 18.

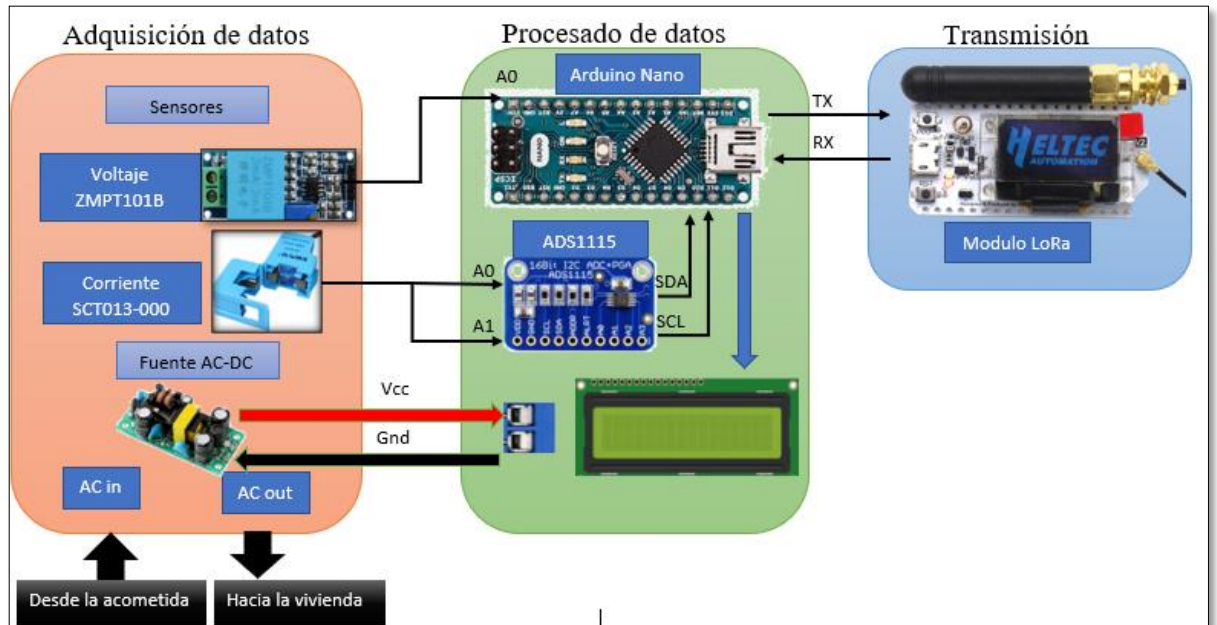
Tabla 18: Características de Raspberry pi modelo 3b. [50]

Raspberry pi modelo 3b	
	
CPU	Broadcom BCM2837, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC
GPU	VideoCore IV 400 MHz
Memoria Ram	1GB LPDDR2 SDRAM
Comunicaciones Inalámbricas	IEEE 802.11.b/g/n Bluetooth 4.1
Conexiones a la red	Fast Ethernet 10/100 Gbps
Puertos	GPIO 40 pines HDMI 4 x USB 2.0 CSI (cámara Raspberry Pi) DSI (pantalla tácil) Toma auriculares / vídeo compuesto Micro SD Micro USB (alimentación)
Almacenamiento	Externo tarjeta microSD recomendado desde 16Gb
Alimentación	5 V a 2.5 A
Precio	\$45

Elaborado por: El Investigador.

Diseño de los Nodos Finales

En la Figura 21 se ilustra el esquema total del nodo final para lo cual se muestra cada etapa que la conforma: Etapa de adquisición de datos, Etapa de procesado de datos y transmisión.

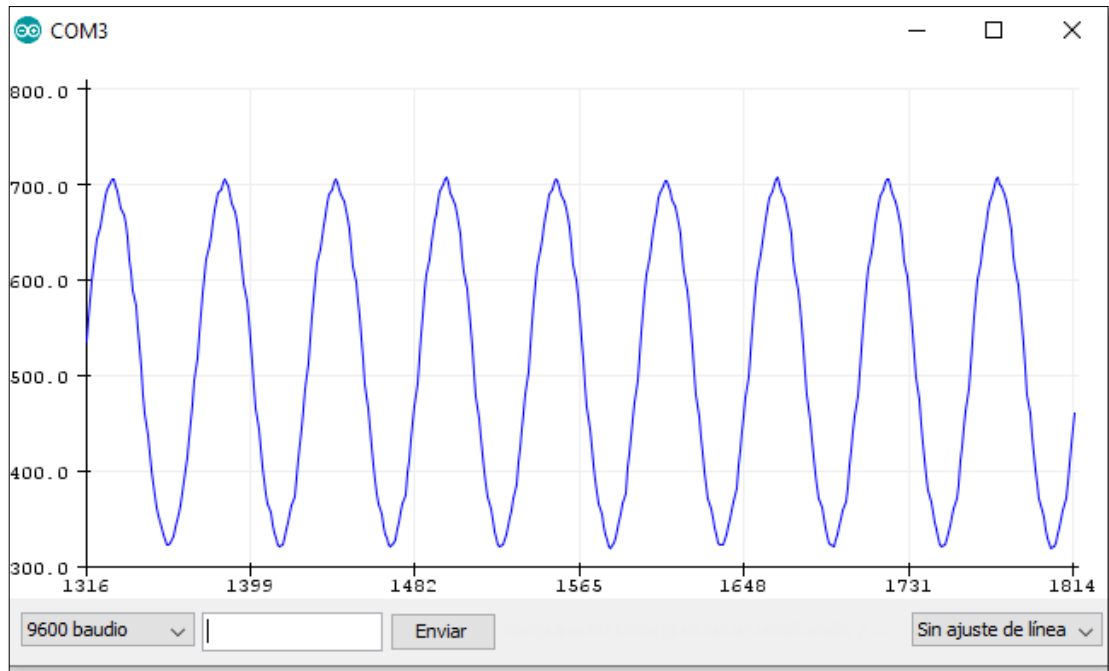


*Figura 21: Esquema nodo final.
Elaborado por: El Investigador.*

Etapa de Adquisición de Datos

En esta etapa se adquirió los datos de los sensores de voltaje y de corriente los cuales fueron recogidos de la red eléctrica en la vivienda, los sensores se ubican después del medidor eléctrico de la empresa distribuidora para poder sensar el consumo de toda las cargas conectadas.

Para el voltaje se utilizó el módulo ZMPT101B el cual tiene una bornera para conectar a fase y neutro, el transformador reduce la amplitud de la señal eléctrica alterna y luego pasa a una etapa de acondicionamiento en donde la señal es desplazada a la parte positiva y por medio de un amplificador operacional con un potenciómetro lineal puede ser ajustada la amplitud a la salida del sensor, para que pueda ser leída por la entrada analógica del microcontrolador en la Figura 22 se observa la señal de salida del sensor de voltaje leído por el microcontrolador.

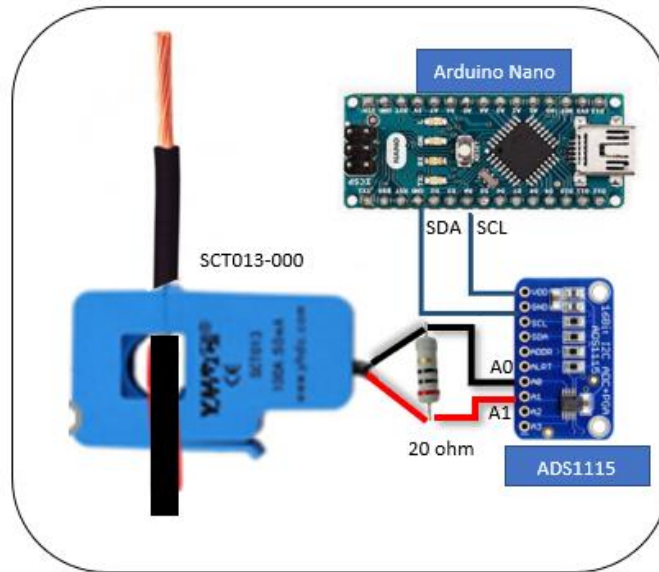


*Figura 22: Serial Plot de la lectura del sensor de voltaje ZMPT101B.
Elaborado por: El investigador.*

El ADC del Arduino Nano tiene una resolución de 10bit, y cuantificara en valores en el rango de 0 a 1023, el cual por medio de programación y fórmulas matemáticas se obtiene el valor de voltaje RMS de la red eléctrica.

La corriente se obtuvo por medio del sensor SCT013-000 100, este sensor tiene un rango de entrada de 0 – 100 amperios, y su salida es de 0 – 50 mA para lo cual es necesario colocar en paralelo un arreglo de resistencias de 20 Ohms en la salida del sensor para obtener un rango de 0 – 1V.

Para liberar al microcontrolador de procesos, se utilizó un ADC externo ADS1115 tiene entradas diferenciales y una resolución de hasta 16bits, este módulo transmite por medio de I2C el valor sentido hacia el microcontrolador, en la Figura 23 se detalla la conexión del sensor del corriente con el módulo ADC y microcontrolador.



*Figura 23: Conexión del sensor de corriente SCT013-000 100.
Elaborado por: El investigador.*

La alimentación total del nodo final se lo realiza a partir del circuito de un adaptador de pared de 5 voltios a 2 amperios adaptado al prototipo para poner en funcionamiento todo el circuito.

Etapas de Procesado de Datos

Una vez adquiridos los datos de los sensores, el microcontrolador se encarga de calcular los valores de voltaje rms, corriente rms, potencia y kWh, a través de algoritmos y fórmulas matemáticas.

El cálculo del voltaje se realiza a partir de los valores leídos por el ADC, para lo cual se utilizó la librería emonlib ideal para este tipo de aplicaciones la cual calcula el voltaje RMS, se inicializa proporcionando la entrada analógica y calibración dentro de void loop se inicia con la sentencia emon.calcVI, con lo que se procederá al cálculo por parte de la librería, finalmente para guardar el dato se utiliza la sentencia emon.Vrms obteniendo el valor de voltaje RMS de la red.

El cálculo de la corriente se utilizó la librería Adafruit_ADS1015 la cual sirve para el módulo ADS1115, se inicializa y se establece la ganancia, este módulo transmite la información por medio de comunicación I2C hacia el microcontrolador por lo que es necesario utilizar la librería wire.h, para la corriente RMS se realizó a través de

cálculos matemáticos en una función fuera del código principal, en la cual hay que proporcionar datos como el factor que depende del rango máximo del sensor, siendo 100 por ser la corriente máxima que tiene capacidad el sensor y también se proporciona un multiplicador este número es propio del sensor SCT013-000 100 y su algoritmo de cálculo, se obtiene como resultado la corriente RMS

Una vez obtenidos los valores de corriente y voltaje RMS se procede a los cálculos matemáticos para determinar el valor de potencia activa en Vatios, y también el consumo de energía eléctrica en kilovatio-hora.

El cálculo de potencia activa se lo realiza con la multiplicación del voltaje RMS y corriente RMS.

Para el cálculo de kilovatio-hora se lo realiza a partir de la potencia activa y multiplicado por el tiempo de observación, el algoritmo de cálculo del voltaje y la corriente emplean dos segundos siendo el tiempo de observación, por lo que la fórmula empleada fue:

$$ws = P(W) * 2(s) \quad (11)$$

Con la fórmula 11 se obtiene el valor en vatios-segundos, empleando la transformación de la fórmula 10, $E = \frac{Ws}{3600000}$ [kWh], se obtiene el valor en kilovatio-hora correspondiente al consumo de energía eléctrica.

Una vez calculado todas las variables se muestra en la pantalla LCD, también tiene indicadores para cuando esta encendido el circuito y otro cuando existe un alto consumo de energía.

Finalmente, el microcontrolador arma la trama para transmitir hacia el módulo LoRa por medio de comunicación serial UART, en la Figura 24 se observa el diagrama de flujo del programa en el Arduino.

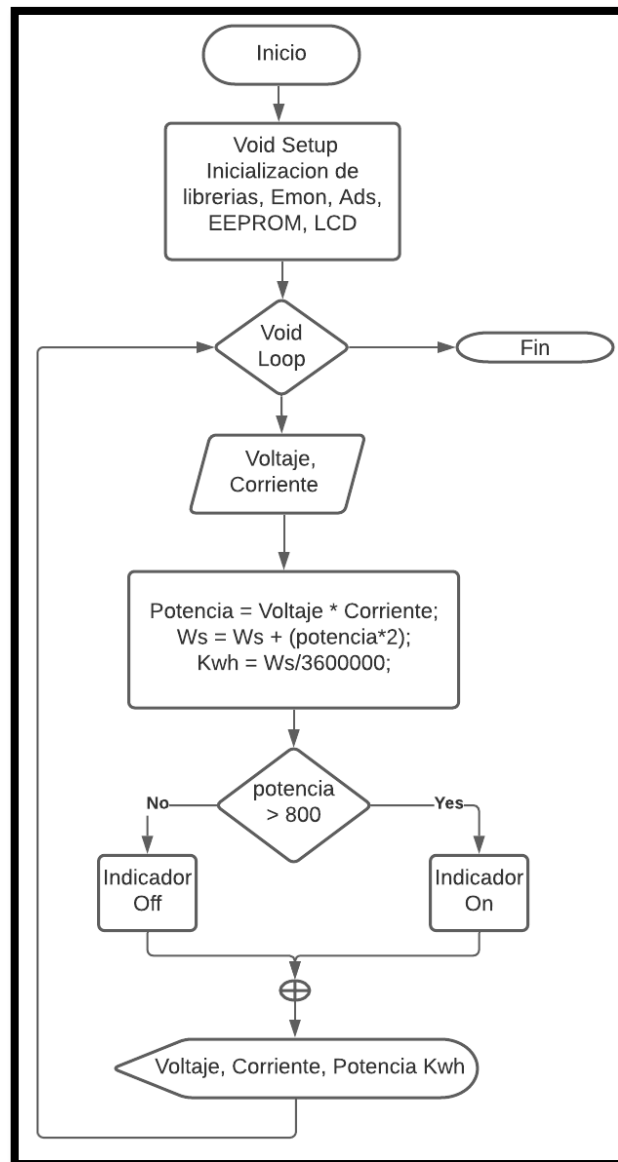


Figura 24: Diagrama de flujo del programa en Arduino Nano.
Elaborado por: El Investigador.

Etapa de transmisión

En esta etapa el módulo Heltec Wifi LoRa 32 recibe la trama con los datos de voltaje, corriente, potencia y kilovatio-hora, por comunicación serial UART, el módulo LoRa arma una nueva trama en donde se agrega un identificador del dispositivo que transmite y la dirección del gateway hacia donde se envía, el identificador dependiendo del nodo final es D1 o D2, la dirección del gateway es C1, el módulo LoRa transmite a cada segundo, en el módulo se define también la frecuencia en la que se va trabajar, para Ecuador es la frecuencia de 915Mhz.

Gateway LoRa

Este dispositivo es el encargado de recibir las tramas de información por parte de los nodos finales a través de modulación LoRa y publicar en el bróker MQTT en el servidor, el módulo Heltec Wifi Lora 32 permite la conexión tanto Lora y Wifi, por lo que primero se conecta a una red inalámbrica y luego al bróker.

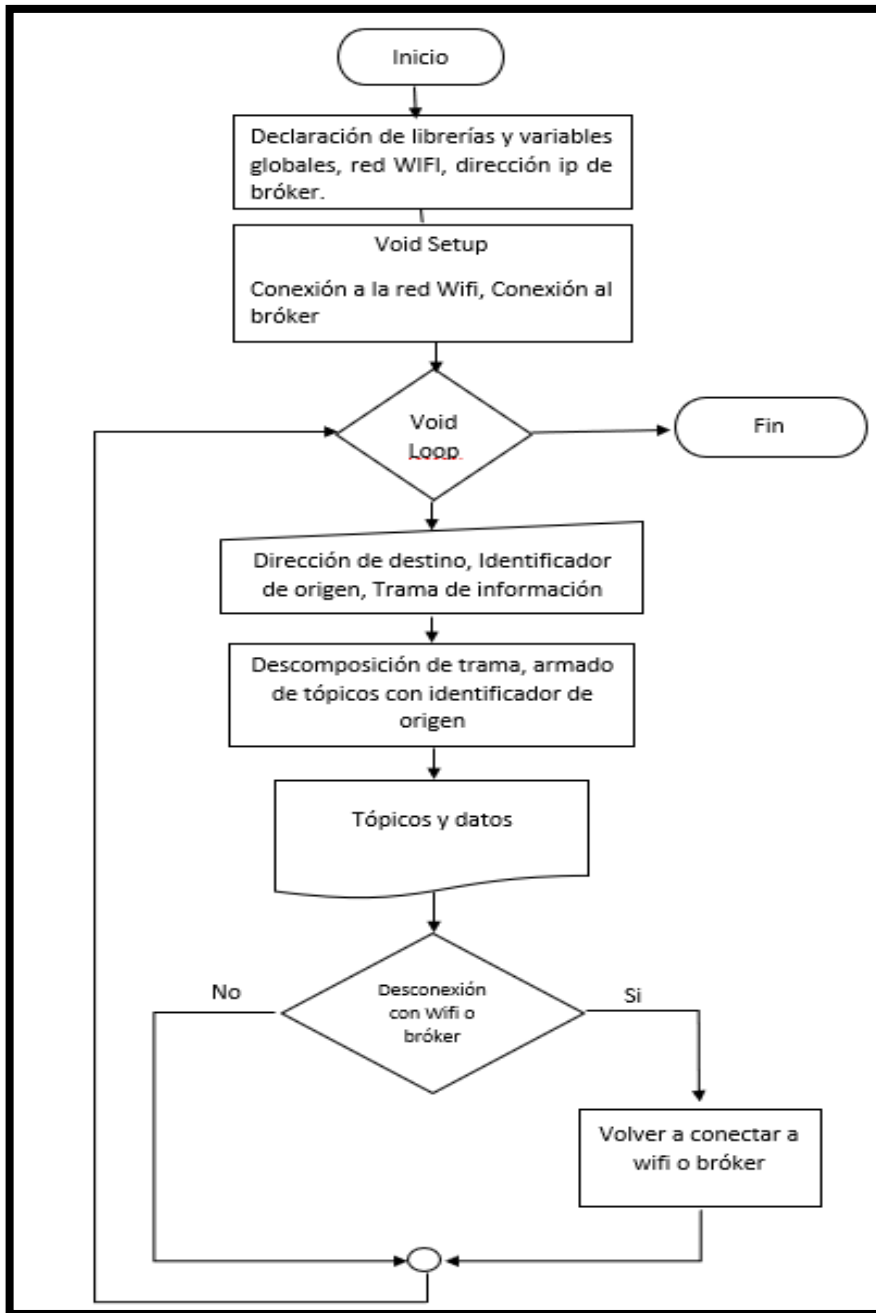
La programación inicia con la declaración de las librerías necesarias para conexión LoRa, Wifi y MQTT, se define la frecuencia de operación que es la misma en la que los módulos se definieron de 915Mhz.

Para la conexión Wifi se proporciona el nombre de la red y la contraseña, también se debe proporcionar la dirección Ip y el puerto del servidor donde se encuentra el bróker MQTT.

Una vez establecida la conexión inalámbrica y con el bróker, comienza la espera por la llegada de información por medio de modulación LoRa, cuando llega un paquete, lo primero que recibe es la dirección de destino que debe coincidir con la dirección local "CI", la cual permite identificar si el mensaje recibido es para el gateway, luego recibe la dirección del origen del mensaje para luego publicar en los tópicos la información correctamente, finalmente recibe la trama con los cuatro valores de voltaje, corriente, potencia y kWh.

El gateway descompone la trama en cuatro valores separados y publica cada valor en un tópico específico en el bróker y también publica toda la trama en otro tópico, dentro de la programación se arma el tópico al cual se va a publicar adicionando el identificador del nodo final de origen, por ejemplo, cuando llega una trama del nodo final D1, el tópico al cual se enviara el valor de voltaje seria "*medidor/loraD1/voltaje*", de la misma forma se publica los demás valores en el bróker, el identificador es agregado en el tópico en la parte de *loraD1* siendo *D1* del nodo final de origen.

Si la conexión inalámbrica o el bróker MQTT se interrumpe por cualquier motivo, corre un algoritmo para poder reconectarse nuevamente, evitando que se interrumpa la transmisión de información entre los nodos finales y el servidor, en la Figura 25 se ilustra el diagrama de flujo de la programación en el gateway.



*Figura 25: Diagrama de flujo de programación del Gateway.
Elaborado por: El Investigador.*

Servidor Web

Es en donde se concentran los datos enviados por los nodos finales a través del gateway, también se encuentra alojado el bróker MQTT Mosquitto, y de la misma forma se encuentra alojado el servidor LAMP, para la interfaz web y el uso de bases

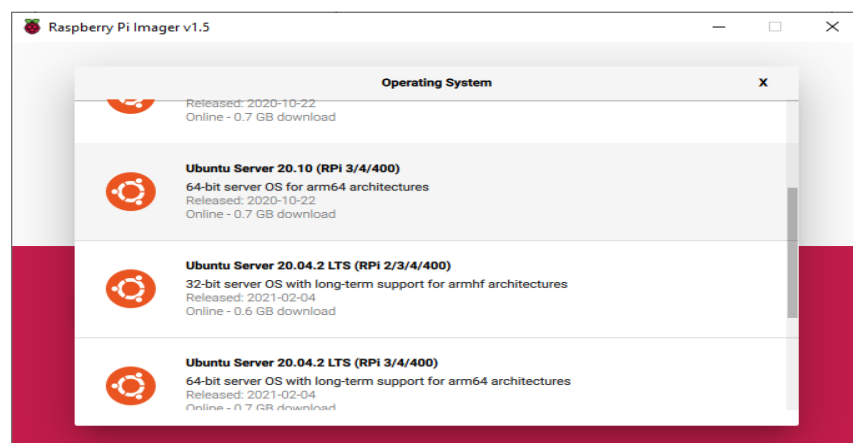
de datos para almacenar la información recibida, finalmente se utilizó Node Red el cual es el encargado de procesar la información recibida por el protocolo MQTT.

El servidor funciona bajo el sistema operativo Ubuntu Server 20.10 el cual es ideal dentro del proyecto ya que está instalado en una Raspberry pi, la instalación del sistema operativo se lo realizó grabando en una tarjeta microSD, la fundación Raspberry pi ofrece un programa propio llamado Raspberry pi imager para poder realizar esta actividad



*Figura 26: Raspberry pi Imager
Elaborado por: El Investigador*

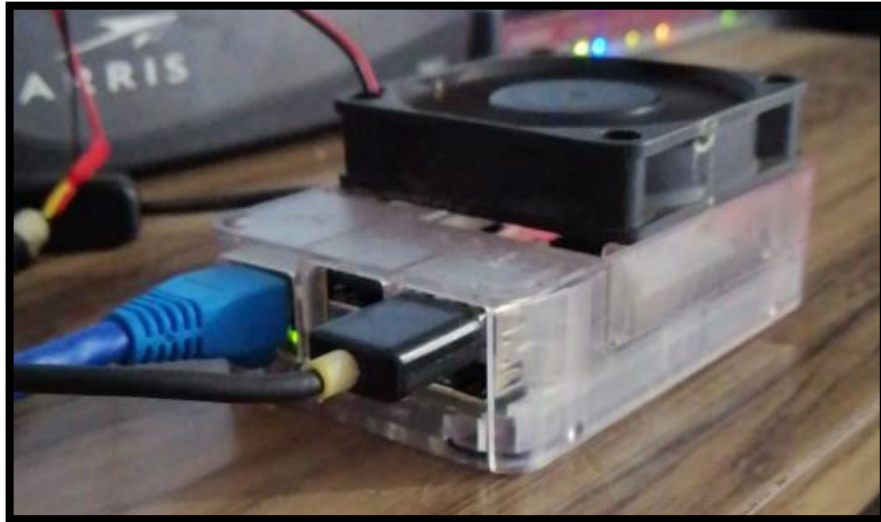
Raspberry pi imager da la facilidad para elegir qué sistema operativo se desea instalar para ejecutar en la placa, en la Figura 27, se muestra los sistemas operativos disponibles y compatibles para las distintas placas Raspberry pi.



*Figura 27: Sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi
Elaborado por: El Investigador*

Luego de elegir el sistema operativo compatible con la placa Raspberry pi 3b, se procedió al encendido de esta, la placa está conectada por ethernet con el router, para

lo cual fue necesario el uso el programa PuTTY, para establecer una conexión SSH, en la Figura 28, se observa la conexión física de la placa Raspberry pi.



*Figura 28: Conexión física de Raspberry pi.
Elaborado por: El Investigador*

Instalación LAMP

El servidor web presenta una interfaz hacia el cliente para los cual se instaló el stack Lamp, que un conjunto de software libre necesario para una infraestructura web, Lamp, viene de Linux: el sistema operativo, Apache: servidor HTTP, Mysql o Maria DB: gestor de base de datos y PHP, Python: lenguajes de programación.

Luego de actualizar primero los repositorios necesarios se procedió a la instalación primero de Apache:

```
sudo apt install -y apache2 apache2-utils
```

Para comprobar que este correctamente instalado se ingresó desde el navegador a la dirección `http://192.168.1.21`, en donde se observó la página por defecto de apache, las páginas web se alojan en la dirección `/var/www/html`, se dio permiso en el firewall ufw de Ubuntu para el puerto 80 http para lo cual se escribió la siguiente línea.

```
sudo ufw allow http
```

Para guardar los datos que proceden de los nodos finales fue necesario la instalación de un gestor de bases de datos, para lo cual se utilizó MariaDB, con el siguiente comando:

```
sudo apt install mariadb-server mariadb-client
```

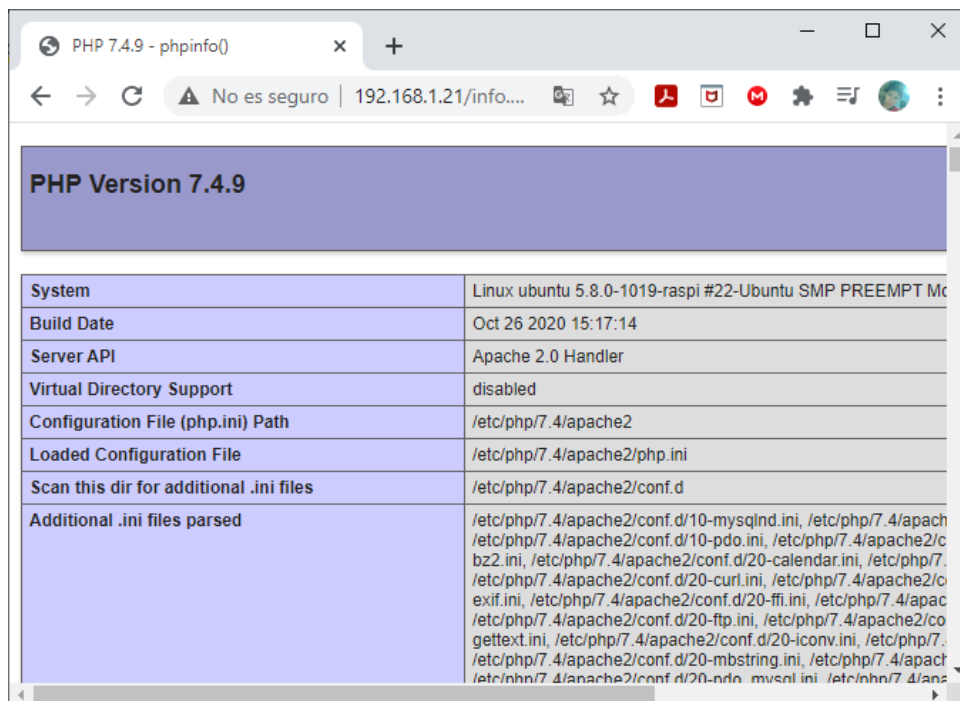
luego de la instalación se configuró para que inicie cada vez que el sistema es encendido con el comando *sudo systemctl enable mariadb*.

Finalmente se corrió el script de secure_installation: *sudo mysql_secure_installation*

Para la instalación de PHP y las librerías necesarias para trabajar con mariaDB, se ejecutó la siguiente línea:

```
sudo apt install php7.4 libapache2-mod-php7.4 php7.4-mysql php-common php7.4-cli php7.4-common php7.4-json php7.4-opcache php7.4-readline.
```

Para comprobar la correcta instalación de PHP se creó un archivo info.php, en la dirección */var/www/html*. Y en el explorador en la dirección *http://192.168.1.21/info.php* como se ilustra en la Figura 29.



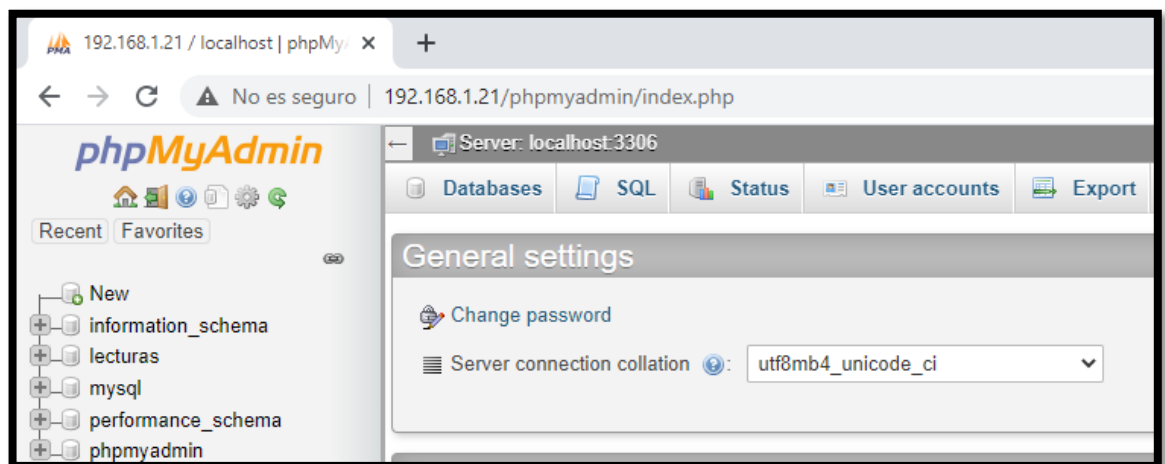
*Figura 29: Página de información de PHP.
Elaborado por: El Investigador.*

Instalación de PhpMyAdmin

Para tener un manejo visual del gestor de base de datos MariaDB, fue necesario instalar phpmyadmin, el cual es un software escrito en PHP que permite una navegación entre bases de datos, crear, editar, y eliminar bases de datos o tablas según se requiera, como requisito se necesitó tener instalado un gestor de base de datos en el servidor, el siguiente comando permitió la instalación de esta herramienta:

sudo apt-get install phpmyadmin.

Por defecto cuando trabaja con MariaDB el usuario root está bloqueado, para poder utilizar esta herramienta con todos los privilegios fue necesario crear un nuevo usuario y asignarle todos los privilegios esto se lo realizó en el CLI de MariaDB, el nuevo usuario creado es *admin*, en la Figura 30 se muestra el login en phpmyadmin.



*Figura 30: Login PhpMyAdmin.
Elaborado por: El Investigador*

Instalación de Mosquito Bróker

Mosquitto es un software libre de la empresa Eclipse, el cual trabaja bajo el protocolo MQTT(Message Queuing Telemetry Transport), mosquitto es el bróker o intermediario, en donde los dispositivos publican mensajes o se subscriben a algún tópico, este software es liviano ideal para trabajar en computadores simples o de recursos limitados como por ejemplo Raspberry pi, para instalar el bróker se utilizó el siguiente comando:

```
sudo apt-get install mosquitto
```

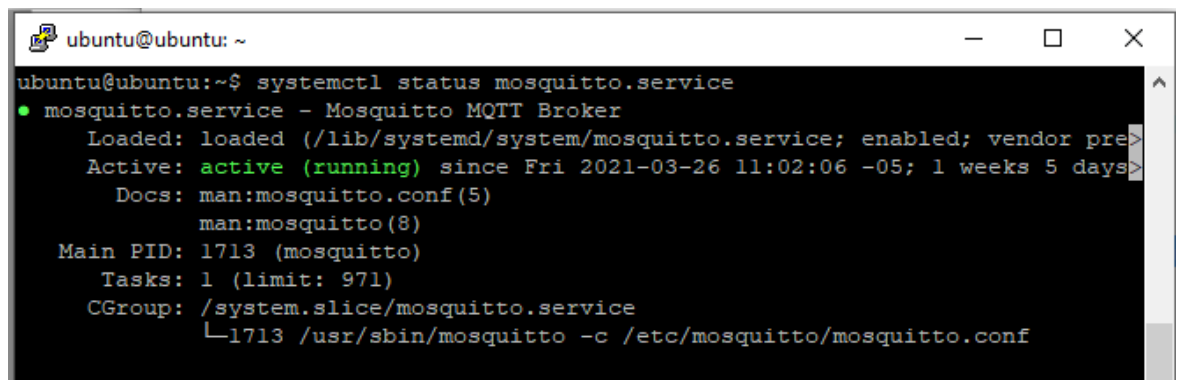
Para poder visualizar los datos que son transmitidos en algún tópicos en específico fue necesario instalar también las librerías para clientes.

```
sudo apt-get install mosquitto-clients
```

Para poder subscribirse a un tópicos se utilizó el comando `mosquitto_sub -h dirección ip del broker -t tópicos`.

Para publicar datos en el bróker se utilizó el comando `mosquitto_pub -h dirección ip del broker -m mensaje -t tópicos`

Para comprobar que el bróker se encuentra en funcionamiento se ejecutó el código `systemctl status mosquitto.service`. en la Figura 31, se observa el funcionamiento correcto de Mosquitto.



```
ubuntu@ubuntu: ~  
ubuntu@ubuntu:~$ systemctl status mosquitto.service  
● mosquitto.service - Mosquitto MQTT Broker  
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/mosquitto.service; enabled; vendor pre  
   Active: active (running) since Fri 2021-03-26 11:02:06 -05; 1 weeks 5 days  
     Docs: man:mosquitto.conf(5)  
           man:mosquitto(8)  
  Main PID: 1713 (mosquitto)  
    Tasks: 1 (limit: 971)  
   CGroup: /system.slice/mosquitto.service  
           └─1713 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf
```

Figura 31: Mosquitto bróker.

Instalación de Node-Red

La programación y la visualización en dashboards se lo realizó en Node-Red que es una herramienta basada en node.js, la instalación se realizó mediante el comando:

```
bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)
```

Este comando descarga y corre el script de instalación de Node-Red, luego de ser instalado para correr el programa se escribió el comando `node-red-start`.

Sin embargo, para indicar que Node-Red inicie cada vez que se encienda o reinicie la tarjeta Raspberry pi se ejecutó el siguiente comando.

```
sudo systemctl enable nodered.service
```

Programación en Node-Red

La característica principal de la utilización de Node-Red, es su programación visual, que permite establecer un flujo de la información, orientado a aplicaciones IoT, el lenguaje de programación utilizado también es JavaScript que permite crear funciones dependiendo la necesidad, cuenta con numerosos módulos o nodos que permiten manipular los datos para mostrarlos en dashboard, guardar en una base de datos etc. Para ingresar a la interfaz de programación se accedió a la dirección *ip-del-servidor:1880*, para el presente caso es *192.168.1.21:1880*.

Por cada nodo final en el bróker se encuentran publicados cinco tópicos voltaje, corriente, potencia, kwh y la trama total. Los cuatro primeros valores son utilizados para ser visualizados en la interfaz web, donde se monitorea en tiempo real el consumo de energía eléctrica de cada vivienda en estudio. La trama total en donde se encuentra los cuatro datos agrupados en una sola cadena se guarda en la base de datos en un intervalo de tiempo establecido.

Conexión a Mosquitto

La conexión con el bróker MQTT se lo realizó con el nodo *mqtt in*.

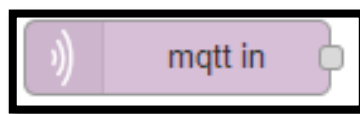


Figura 32: Nodo mqtt-in, para suscripción a un tópico

Donde se debe realizar las configuraciones necesarias para poder recibir los datos alojados en el bróker, al editar las configuraciones del nodo, fue necesario configurar el servidor MQTT eligiendo la opción *Add new mqtt-broker*.

Se despliega una nueva ventana de configuración, para el ingreso de la dirección IP del servidor MQTT y el puerto donde escucha, para el presente proyecto, el servidor MQTT se encuentra en el mismo host, se configura como localhost y el puerto por defecto del protocolo 1883, como se ilustra en la Figura 33.

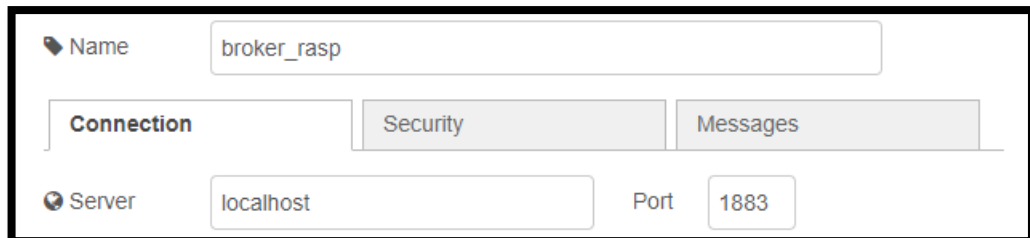


Figura 33: Configuración del servidor MQTT

Se guardó la configuración y regresando a la ventana anterior, con el servidor establecido, la siguiente configuración fue el tópico al cual se debe subscribir el nodo, se asigna un nombre al nodo y se guarda la configuración, esto se muestra en la Figura 34.

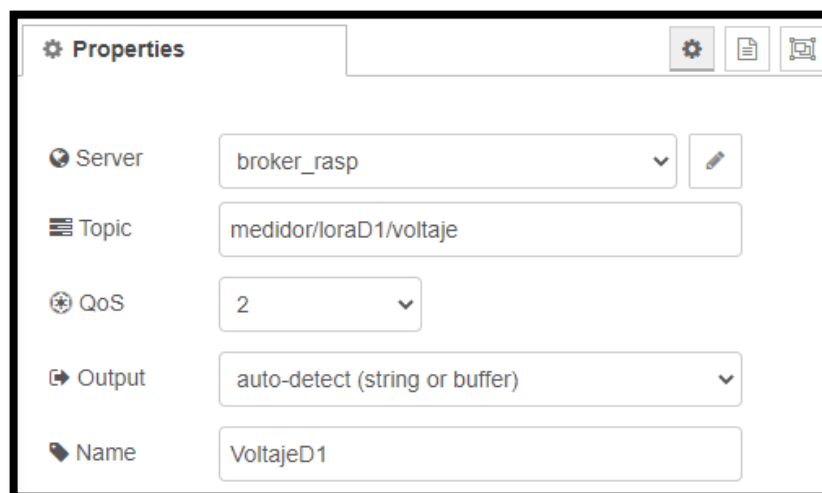


Figura 34: Configuración del nodo de suscripción MQTT

De la misma forma se configuraron el resto de los nodos de suscripción a los tópicos que corresponda, para el nodo final D1 los tópicos utilizados son:
medidor/loraD1/voltaje, para el voltaje.

medidor/loraD1/corriente, para la corriente

medidor/loraD1/potencia, para la potencia

medidor/loraD1/kwh, para kilovatio-hora

medidor/loraD1/total, cadena completa transmitida por el nodo final.

Los tópicos para el nodo final dos solo se diferencian con el identificador, D2, por ejemplo, el tópico del voltaje del nodo final 2 es *medidor/loraD2/voltaje* y así con los demás tópicos restantes.

Si no existen errores en la configuración de los nodos, al momento de compilar todo, el nodo indica que se ha conectado correctamente al bróker mqtt como se observa en la Figura 35



Figura 35: Suscripción exitosa del nodo mqtt al tópico de voltaje del medidor 01

Visualización de Dashboards

Para la visualización de las variables transmitidas por los nodos finales fue necesario instalar los nodos para dashboards. La dirección donde está disponible estas gráficas es: *192.168.1.21:1880/ui*.

Previo al uso de los nodos dashboards fue necesario crear instancias que contendrán estas gráficas, primero se creó la tabla que contiene a los grupos y estos últimos a su vez contienen a las gráficas según como se hayan agrupado.

Como se necesitó visualizar por separado las lecturas de cada vivienda, se crearon dos tablas con sus respectivos nombres: *Medidor01*, *Medidor02*.

Luego se crearon los grupos, los cuales permiten agrupar graficas que estén relacionadas, para cada medidor se crearon seis grupos como se ilustra en la Figura 36.

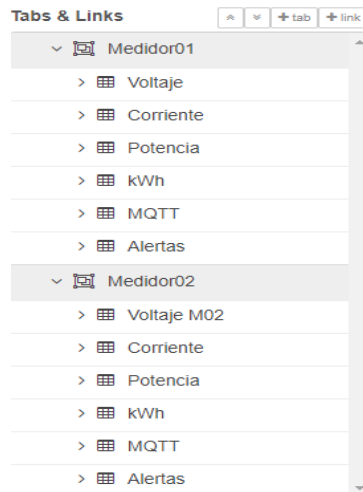


Figura 36: Creación de tablas y grupos para dashboards

Los cuatro primeros grupos están destinados a las variables de estudio, mientras que el grupo MQTT es donde se muestra la trama completa transmitida por los nodos finales, el grupo Alertas, es donde se notifica si existe algún fallo en el medidor de energía eléctrica y también informa sobre si existiese un alto consumo de energía en ese instante.

Una vez implementado todos los nodos necesarios con las configuraciones correctas se observa la interfaz como se observa en la Figura 37.

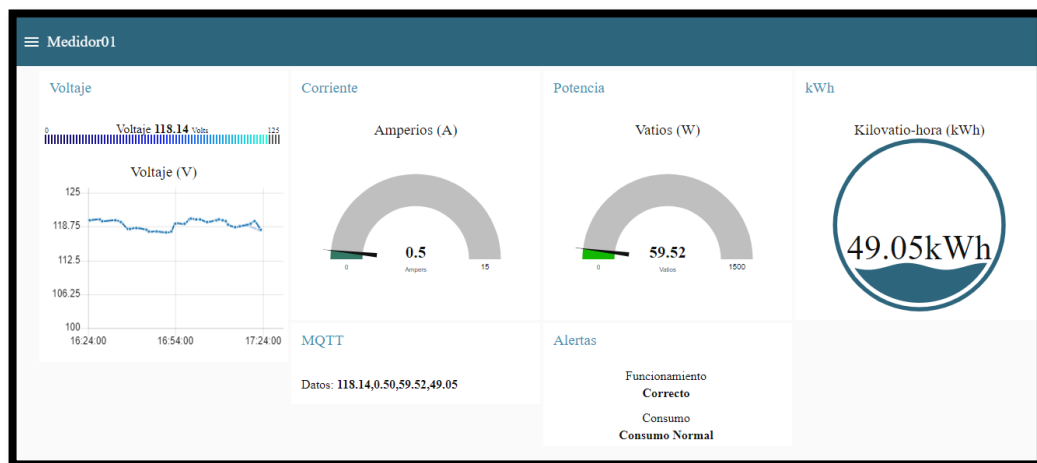


Figura 37: Dashboards correspondientes al medidor 1.

El voltaje es representado por un chart donde se va dibujando los puntos para generar la gráfica del voltaje medido en la última hora, en la parte superior de la gráfica se tiene el valor de voltaje que en ese momento se registra en la vivienda, Figura 38.

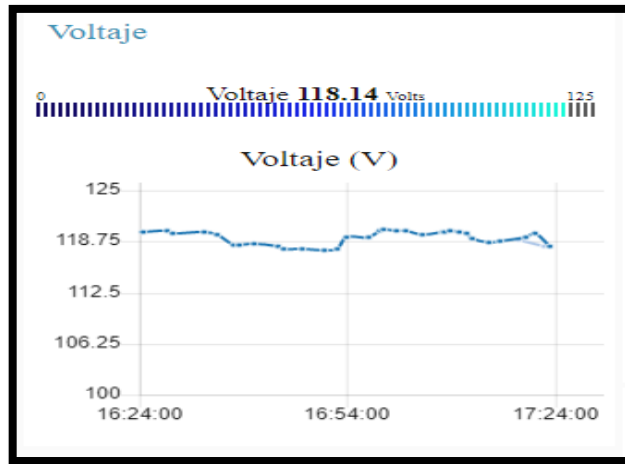


Figura 38: Grafica de voltaje en el medidor 01.

La corriente está representada en un gauge que va de un rango de entre 0 a 15 amperios como se muestra en la Figura 39, en la parte interior de la gráfica se muestra el valor numérico y en la parte superior la unidad Amperios.

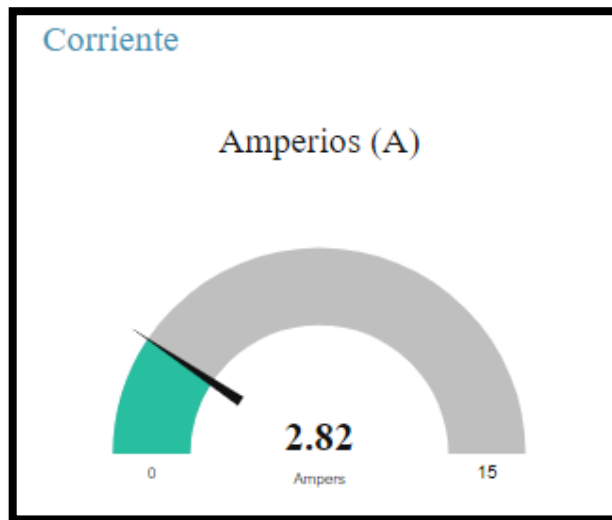


Figura 39: Grafica de corriente registrado del medidor 01.

Para la potencia de manera similar que con la corriente en la parte superior se expresa la unidad vatios(w), y en la parte interior de la gráfica se muestra el valor numérico registrado por el consumo de la vivienda, como se muestra en la Figura 40.

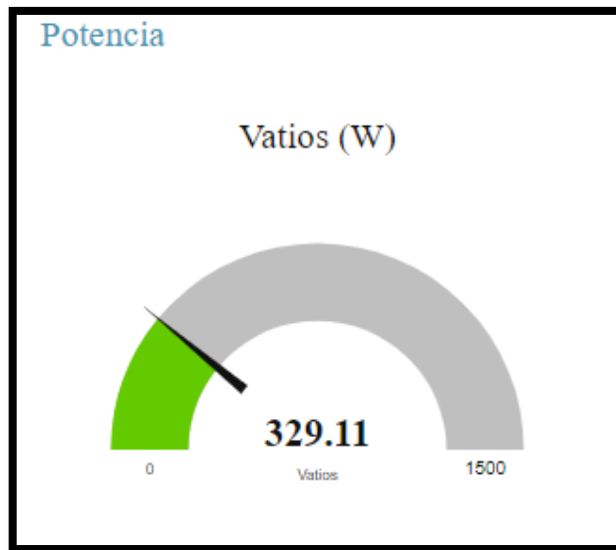


Figura 40: Grafica de la potencia registrada por el medidor 01.

El siguiente dato visualizado es el valor de kilovatios-hora, Figura 41, el cual fue representado por una gráfica de tanque con el valor numérico dentro de la gráfica que según vaya aumentando su valor se ira llenando la gráfica.

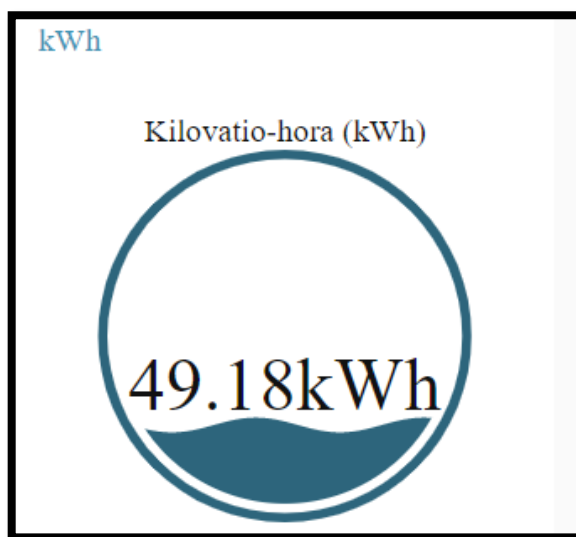


Figura 41: Consumo de kWh registrado por el medidor 01.

Finalmente se tiene dos recuadros menores ilustrados en la Figura 42, el primero es el que muestra la trama completa que fue transmitida desde el nodo final hasta el bróker mqtt, el segundo recuadro llamado alertas tiene dos notificaciones, el primero hace referencia al funcionamiento del medidor, si existiese algún fallo que provoque la

ausencia de energía eléctrica mostrara el mensaje “Fallo por corte de energía eléctrica”, en caso contrario mostrara que el funcionamiento es “Correcto”, en la parte inferior se tiene un mensaje indicador sobre el consumo de energía, dependiendo la corriente consumida mostrara los mensajes “Consumo normal”, “Consumo moderado” o “Alto consumo de energía eléctrica”.



Figura 42: Visualización de datos recibidos por MQTT y alertas.

Conexión con MariaDB

Hasta el momento la información proporcionada por los nodos finales es presentado en una interfaz web, pero estos datos son volátiles, para tener un registro histórico del consumo de energía eléctrica fue necesario guardar la información en una base de datos. El gestor de bases de datos instalado previamente en el servidor es MariaDB, y para la administración de bases de datos de manera visual se instaló phpmyadmin, el primer paso fue crear la base de datos, al cual se asignó con el nombre de “lecturas”, para cada casa se creó una tabla respectivamente con los nombres “med” y “med2”, como se ilustra en la Figura 43.

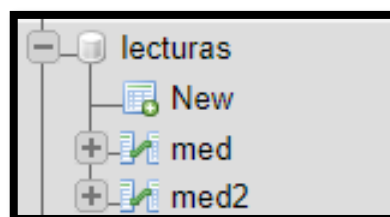


Figura 43: Base de datos “lecturas” con sus tablas.

Luego de la creación de la base de datos y sus tablas, en cada una de estas se crearon los campos necesarios para almacenar la información recibida de los nodos finales, en ambas tablas se crearon los mismos campos que son: voltaje, corriente, potencia, kwh

y fecha. Aparte de los cuatro primeros datos recibidos se agregó el campo de fecha para tener el registro de hora y fecha, en la Figura 44 se observa los campos creados en la tabla “med” y de igual forma fue creado para la tabla “med2”.


#	Name	Type
<input type="checkbox"/> 1	id 	int(11)
<input type="checkbox"/> 2	voltaje	double
<input type="checkbox"/> 3	corriente	double
<input type="checkbox"/> 4	potencia	double
<input type="checkbox"/> 5	kwh	double
<input type="checkbox"/> 6	fecha	datetime

Figura 44: Campos creados en las tablas de la base de datos “lecturas”

Se debe establecer la conexión entre Node-Red, y MariaDB, para lo cual fue necesario la instalación del nodo Mysql.

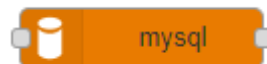


Figura 45: Nodo Mysql de Node-Red.

El uso del nodo mysql permite realizar cualquier tipo de consulta en la base de datos seleccionada, para configurar este nodo fue necesario proveer los siguientes parámetros: host, puerto que escucha, usuario, contraseña y base de datos a conectarse, en la Figura 46 se observa la configuración realizada para establecer la conexión con la base de datos.

Host	localhost
Port	3306
User	admin
Password
Database	lecturas

Figura 46: Configuración del nodo Mysql en Node-Red.

Establecida la conexión con la base de datos, se puede realizar cualquier tipo de consulta o escritura en la base de datos a través de lenguaje SQL, sin embargo, el nodo mysql solo establece la conexión con la base de datos, para realizar cualquier acción fue necesario utilizar un nodo función, los nodos función como se observa en la Figura 47, permiten la programación en lenguaje JavaScript.

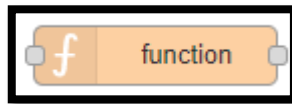


Figura 47: Nodo Función en Node-Red.

Las sentencias SQL deben ser guardadas en `msg.topic`, dentro del nodo función que va conectado con el nodo mysql.

Para guardar los datos en la base, dentro de la sentencia SQL se estableció, la tabla, los campos y los valores, a continuación, se muestra el código necesario para guardar en la tabla “med” de la base de datos “lecturas”.

```
var str;
var d = new Date();
an =d.toString().slice(11,15);
mes=d.getMonth()+1;
dia=d.toString().slice(8,10);
h=d.toString().slice(15,24);
fecha= an+"-"+mes+"-"+dia+h;
str = msg.payload.split(",");
msg.topic="INSERT INTO med2 VALUES (NULL, '"+str[0]+'',
'+str[1]+'', '"+str[2]+'', '"+str[3]+'', '"+fecha+'')";
return msg;
```

Entre nodos la información es almacenada dentro del objeto `msg.payload`, en este caso dentro del objeto llega al nodo función la cadena con los valores de voltaje, corriente, potencia y kWh, por medio de lenguaje JavaScript, donde se armó una cadena que contiene la fecha y hora de la lectura, después se separó en datos individuales a la cadena almacenada en `msg.payload` con la función `split` en donde se debe indicar cual es el separador, luego en `msg.topic`, se ingresó la sentencia SQL, para el almacenamiento de los datos, finalmente se transmitió el objeto `msg`.

La información en el bróker se actualiza constantemente, por lo que fue necesario establecer un intervalo de tiempo en el cual se debe guardar los valores en la base de

datos, para lo cual se utilizó un nodo de retardo “delay”, configurado para retrasar el paso de datos por el periodo de una hora, con lo cual se controló la cantidad de datos guardados al día siendo un total de veinticuatro registros de valores al día.

En la Figura 48 se ilustra la conexión de los nodos necesarios para guardar información en la base de datos.

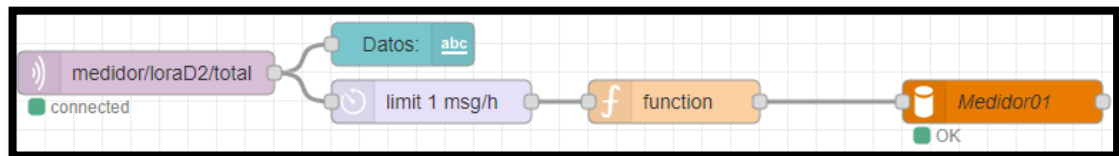


Figura 48: Guardado en base de datos con Node-Red.

La secuencia empieza con el nodo mqtt-in suscrito al tópic *medidor/lorad2/total*. A continuación, se tiene en la parte superior un nodo para mostrar datos dentro de la interfaz de los dashboards, en la parte inferior, la información entra al nodo de retardo el cual está configurado para permitir el paso de un mensaje cada hora, después se encuentra el nodo función donde está programado en JavaScript la función para guardar datos, finalmente el flujo llega hasta el nodo mysql que establece la conexión con la base de datos.

Alertas

El sistema emite alertas cuando existe algún inconveniente sea por un excesivo consumo de energía eléctrica o cuando haya existido algún fallo en el suministro de energía, los avisos se lo realizaron a través del sistema de mensajería Telegram.

Telegram permite la creación de bots, estos son cuentas especiales que no necesitan estar asociadas a un número celular, permiten varias aplicaciones como por ejemplo IoT o inteligencia artificial, su característica principal es la alta integración con terceros por lo que pueden ser programados en distintos lenguajes, la creación de los bots se lo realizó a través de un bot padre, llamado BotFather, el cual es una cuenta especial dedicada a la creación y configuración de bots dentro de la plataforma.



Figura 49: BotFather de Telegram.

La creación de un bot empezó con el envío del comando `/start` a la cuenta BotFather Figura 50.

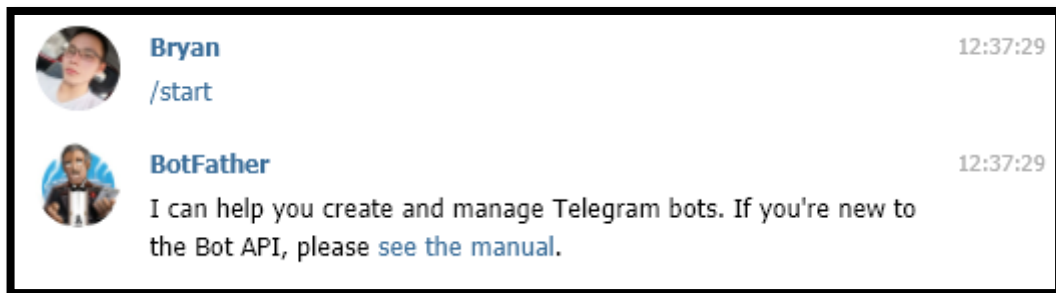


Figura 50: Inicio de chat con BotFather en Telegram.

Una vez iniciado el chat con BotFather se procedió a la creación de un nuevo bot con el comando `/newbot`, luego de eso solicitó un nombre para la nueva cuenta, el nombre asignado al nuevo bot fue “Medidor Eléctrico LoRa”, este proceso se ilustra en la Figura 51.

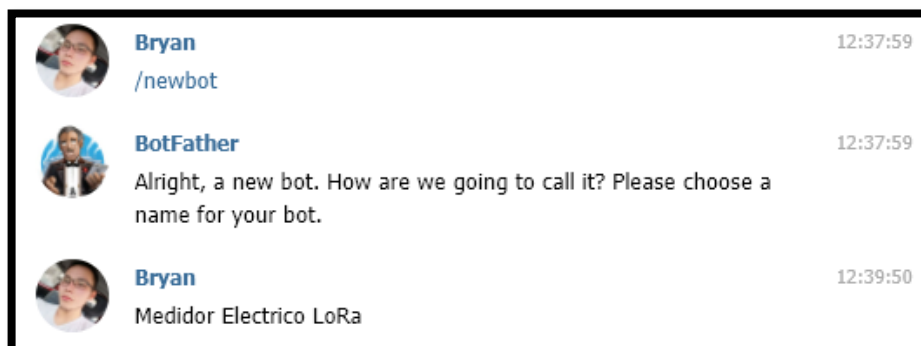


Figura 51: Creación y asignación de nombre al nuevo Bot.

Hasta el momento se ha asignado el nombre que aparecerá en el chat del bot, pero BotFather luego solicitó que se asigne un nombre de usuario o username, con la condición de que este último deba terminar en “bot”, luego de esta acción responderá con el **token**, el cual sirvió para la integración del bot con cualquier aplicación.

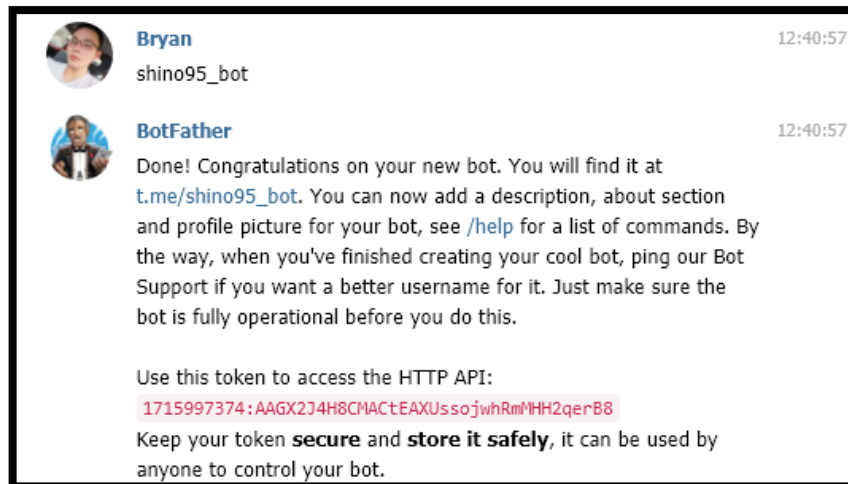


Figura 52: Asignación de username para el Bot.

En la siguiente configuración se asignó una foto de perfil para esto se utilizó el comando `/setuserpic`, luego de especificar el usuario, pidió subir la foto, que aparecerá en el chat. Se eligió configurar como foto de perfil el escudo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, como se muestra en la Figura 53.



Figura 53: Bot creado en Telegram.

Luego de la creación del Bot, se necesitó programarlo, existe diversos métodos para automatizar el Bot, en el presente proyecto se utilizó Node-Red, que posee módulos dedicados a Telegram, estos permiten: recibir mensajes, comandos, identificar eventos y responder chats, en la Figura 54, muestra los módulos para Telegram en Node-Red.

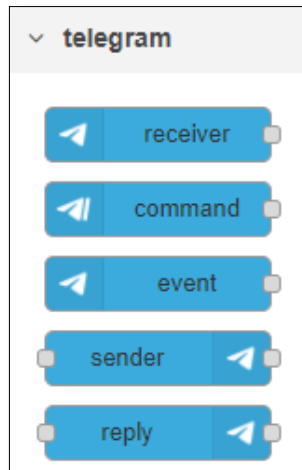


Figura 54: Nodos Telegram en Node-Red.

Para establecer la conexión entre los nodos Telegram, se utilizó el token proporcionado previamente por el BotFather.

Bot-Name	Medidor Electrico LoRa
Token	1715997374:AAGX2J4H8CMACtEAXUssojwhRmMHH2qerB8

Figura 55: Configuración de nodos Telegram en Node-Red.

Establecida correctamente la conexión entre Node-Red y Telegram se procedió a la programación del envío de alertas.

Los nodos de Telegram al igual que sucede con el nodo mysql, necesitaron ser programados mediante un nodo función, dentro de este último el mensaje a enviar a través del Bot al usuario se lo realizó dentro del objeto `msg.payload`, en donde se especificó el ChatID, el cual es propio de cada usuario dentro de Telegram, se utiliza a manera de dirección única, se especifica el tipo de mensaje y finalmente el contenido del mensaje a enviar como se muestra en la Figura 56.

```
1 msg.payload = { chatId: 1719686345,  
2               type: "message",  
3               content: "Alto consumo de Energia en medidor 01"};  
4 return msg;
```

Figura 56: Programación para envío de mensajes desde el Bot al usuario.

La alerta sobre un alto consumo de energía eléctrica se lo realizó a través de la potencia registrada, si esta es mayor a 900 vatios, se promediara y enviara un mensaje a través del Bot hacia el usuario indicando que se registró un alto consumo en ese instante, para evitar inundar de mensajes al usuario se ha limitado a un mensaje cada quince minutos considerando un tiempo prudencial para poder gestionar mejor el consumo de energía en ese momento, en la Figura 57 se ilustra los nodos utilizados para generar una alerta de alto consumo y un ejemplo de mensaje recibido a través del Bot “Medidor Eléctrico LoRa”.



Figura 57: Programación para envío de mensaje de alerta por “Alto consumo de energía eléctrica”.

En el caso de que exista un corte de energía, el sistema envía un mensaje de alerta, para lo cual se tomó como referencia la llegada de datos por MQTT, ya que los nodos finales actualizan constantemente en el bróker los datos, si ha pasado más de un minuto sin recibir datos por parte del nodo final, el bot envía un mensaje indicando que existe un fallo en la red de energía de la vivienda, para poder realizar esta acción se utilizó el nodo *trigger*, el cual permite configuración para actuar como “watchdog”, lo que significa que enviara un mensaje al nodo siguiente cuando deje de recibir mensajes de entrada en un intervalo de tiempo establecido, mientras este nodo reciba mensajes dentro del intervalo establecido no enviara ningún mensaje al nodo siguiente.

Figura 58: Configuración de Nodo Trigger, para que actúe como Watchdog.

En la Figura 58, se observa la configuración del nodo *trigger*, donde en primer lugar se configuró para no enviar nada cuando en la entrada detecte un mensaje, de ahí debe esperar un minuto, se elige la opción para extender el retardo de espera para la llegada de mensajes, finalmente en la opción *then send*, se configuró el mensaje que enviara al siguiente nodo en caso de que el tiempo de espera se haya agotado, permitiendo el flujo de información hacia el nodo de envío de mensajes con el Bot de Telegram, la configuración para el envío de mensajes del Bot es parecido a los implementados para los mensajes de alerta de alto consumo, en la Figura 59 se ilustra la programación y un ejemplo de funcionamiento del envío de alertas por fallo en el nodo final.

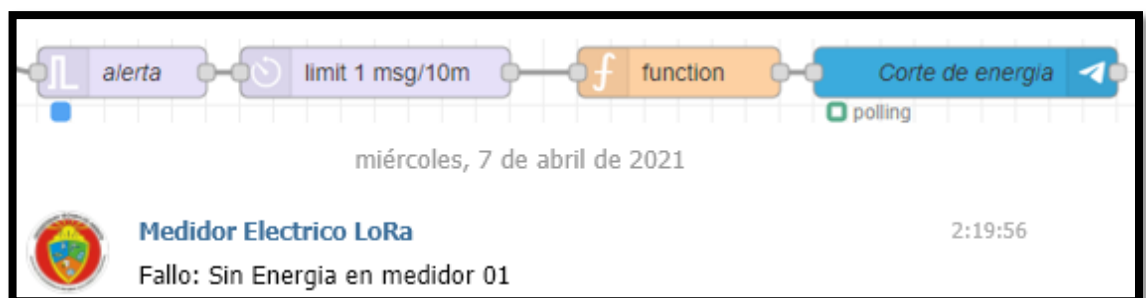


Figura 59: Programación para envío de mensaje de alerta por corte de energía.

Programación de comandos para interactuar con el bot de Telegram

Una característica importante que poseen los bots de Telegram, es la posibilidad de programación de comandos, estos comandos permiten al usuario interactuar con el Bot, la configuración de los mismos se realizó a través de la cuenta BotFather, con el comando `/setcommands`, luego se indicó le username del Bot que se desea agregar comandos, seguido de los comando con sus respectivas descripciones, si se desea borrar la lista de comandos, en lugar de enviar los comandos se envía `/empty`, en la Figura 60, se ilustra el proceso de configuración de comandos en el Bot seleccionado en este caso `@shino95_bot`.

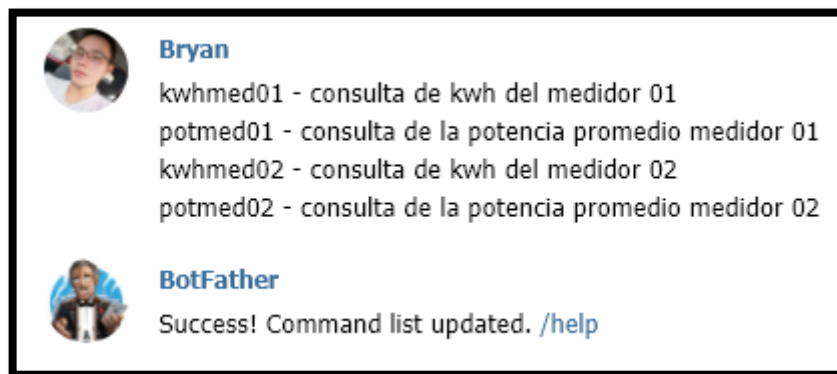


Figura 60: Configuración para asignación de comandos a un Bot en Telegram.

Como se observa en la Figura 60, los comandos configurados sirven para ver la última lectura de consumo de kilovatios-hora y también para realizar consulta sobre la potencia promedio medida por los nodos finales.

La programación de los comandos en Node-Red, comenzó con el nodo Telegram *command*, la cual se diferencia del nodo *receiver*, este último activa su salida con cualquier mensaje que reciba el bot, mientras tanto el nodo *command*, solo activara su salida si recibe un comando en específico, en todos los comandos se realiza una consulta a la base a través de comandos SQL en un nodo función más un nodo *mysql*, luego de ello la información proporcionada por la base de datos debe ser extraída del objeto *msg.payload*, y en un nuevo nodo función se arma el mensaje a enviar al cliente por parte del Bot, en la Figura 61, se muestra los nodos utilizados para poder responder comandos desde Node-Red a través del Bot de Telegram.

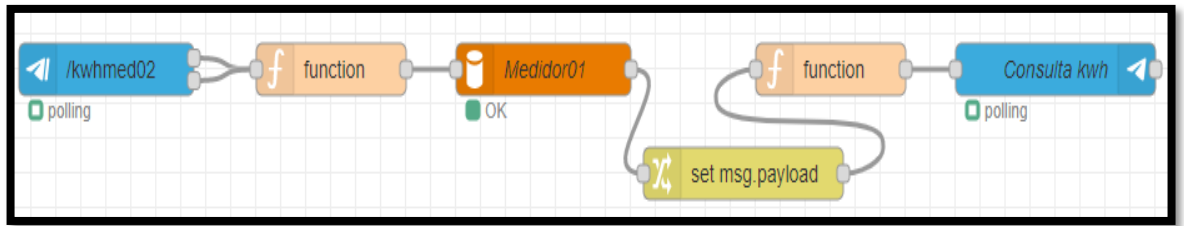


Figura 61: Programación para el uso de comandos del Bot de Telegram.

Página Web

La interfaz web permite la visualización por parte de los clientes, del monitoreo del consumo de energía eléctrica dentro de un sitio web en donde también se puede consultar el resumen de consumo en tablas con los valores almacenados en la base de datos. En la página web se incrusta por medio de código HTML los dashboards generados con Node-Red,

El sitio web cuenta con tres páginas, la página principal cuenta con una portada de inicio y las gráficas del monitoreo en tiempo real de cada nodo final con el nombre de index.html, también se realizó una página con las tablas de resumen de consumo de energía para cada de las viviendas con los nombres de med01.php y med02.php.

El sitio web fue programado en HTML, PHP para la consulta en la base de datos y JavaScript para las gráficas, en la Figura 62 se ilustra la portada del sitio web.

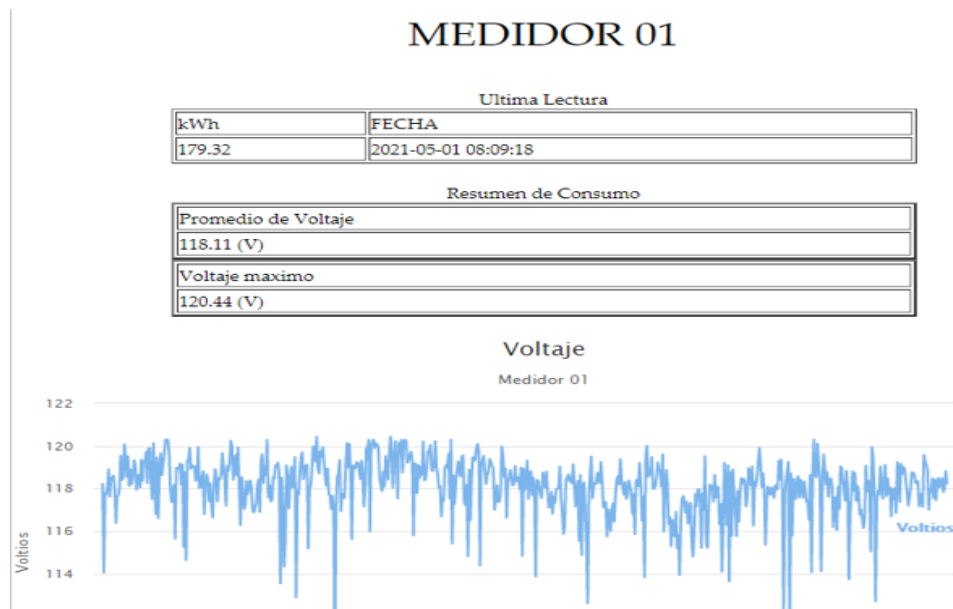


Figura 62: Portada del sitio web.
Elaborado por: El Investigador



*Figura 63: Visualización de los datos dentro de la página web
Elaborado por: El Investigador*

En la Figura 63, se tiene el monitoreo en tiempo real con los datos enviados desde cada nodo final instalado en las viviendas, en la Figura 64 se observa el cuadro resumen del consumo de una vivienda, con sus respectivas gráficas en base a los datos almacenados en MariaDB.



*Figura 64: Visualización de las tablas de resumen de consumo.
Elaborado por: El Investigador*

Terminado la programación y configuración tanto de los nodos finales como del servidor se procedió a la instalación física en las viviendas de los prototipos.

Diseño de Circuito Impreso

El diseño del PCB del prototipo fue en el software Proteus, donde se realizó las conexiones en base al circuito armado previamente en el protoboard, para simular los módulos y microcontroladores se utilizó los conectores de la librería de PCB, se tomaron en cuenta las borneras de alimentación, indicadores y conexiones con los sensores, como se observa en la Figura 65.

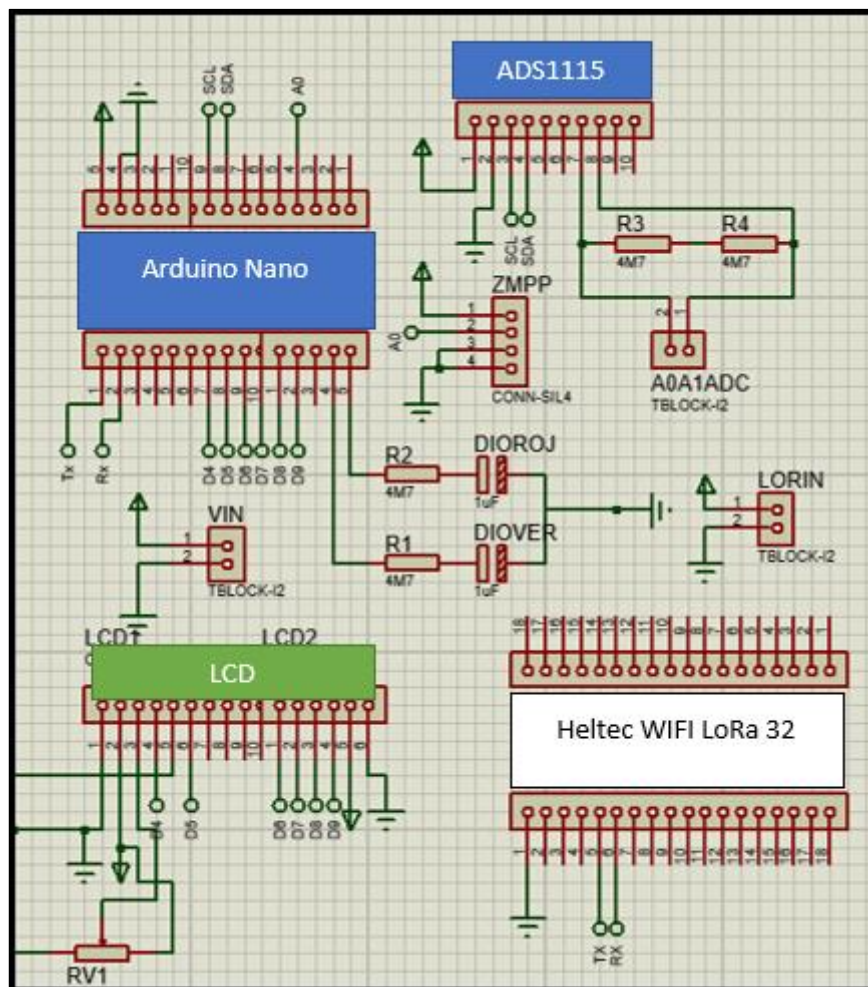
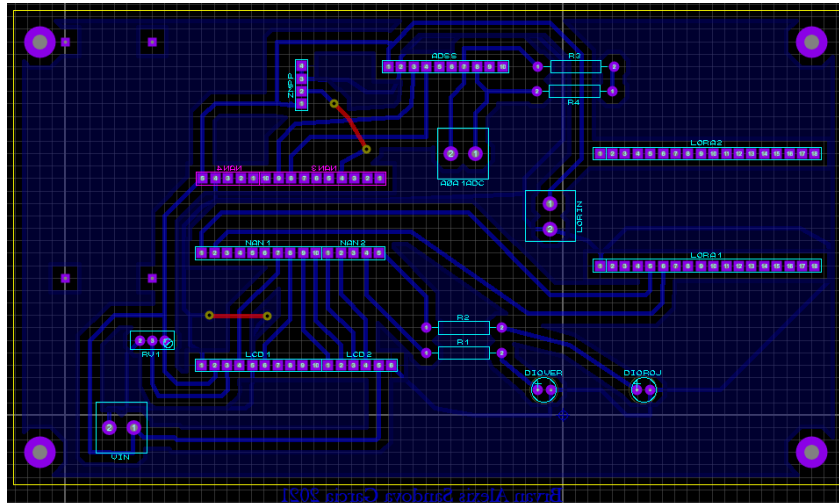


Figura 65: Diseño de circuito impreso en Proteus.
Elaborado por: El Investigador

Revisado todas las conexiones necesarias, se procedió al ruteo de las pistas para lo cual es necesario separar cada elemento tomando en cuenta las dimensiones físicas de estos,

y así evitar posible errores en el diseño, para evitar el ruido dentro de las pistas se tomaron distancias prudenciales y se agregó una máscara conectada a GND.

Luego de establecer el ruteo fue necesario implementar dos puentes dentro del circuito, finalmente el diseño PCB quedó como se muestra en la Figura 66.



*Figura 66: Ruteo de pistas del prototipo.
Elaborado por: El Investigador*

Implementación e Instalación de los Nodos Finales

Terminado el diseño PCB, para los nodos finales se procedió a la fabricación del circuito en baquelita, como en la Figura 67.

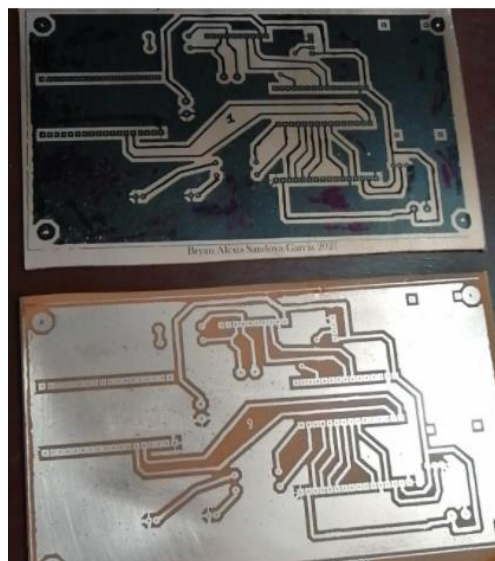


Figura 67: Fabricación de circuitos impresos

Luego de la fabricación de las placas se soldó, borneras, espadines y elementos necesarios para el correcto funcionamiento del prototipo.

Como el dispositivo está destinado a ser instalado en la intemperie, es necesario que el circuito y los componentes se encuentren aislados, y protegidos del agua y del polvo, por lo que se adquirió contenedores con el grado de protección IP54, que significa que tiene un cierto grado de protección contra el ingreso de polvo y agua, este contenedor es de la marca JSL y está diseñado para materiales eléctricos, tiene dimensiones de 220x170x105mm , Figura 68.



Figura 68: Caja de revisión de marca JSL para material eléctrico.

Dentro de este contenedor se realizaron las conexiones necesarias para el funcionamiento correcto del prototipo, se agregó protección con un fusible en caso de sobrecargas, se utilizó borneras eléctricas para la conexión con la red eléctrica de la vivienda, en la Figura 69 se ilustra dichas conexiones.

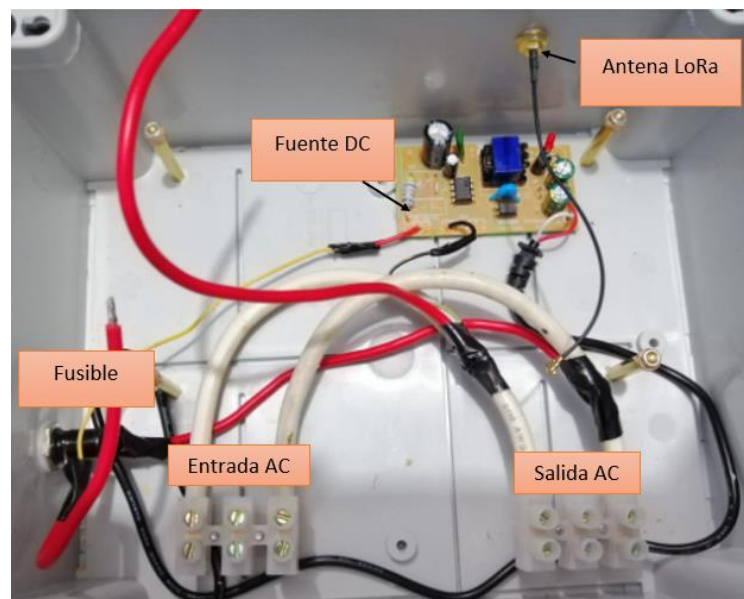


Figura 69: Conexiones internas del nodo final

Finalmente se ensambló el circuito impreso con los elementos conectados, como se muestra en la Figura 70.

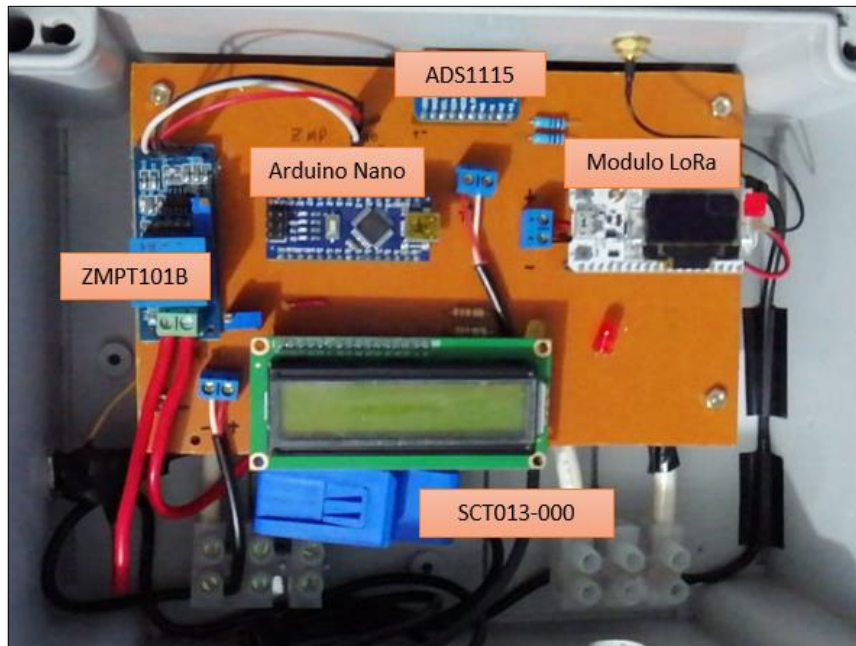


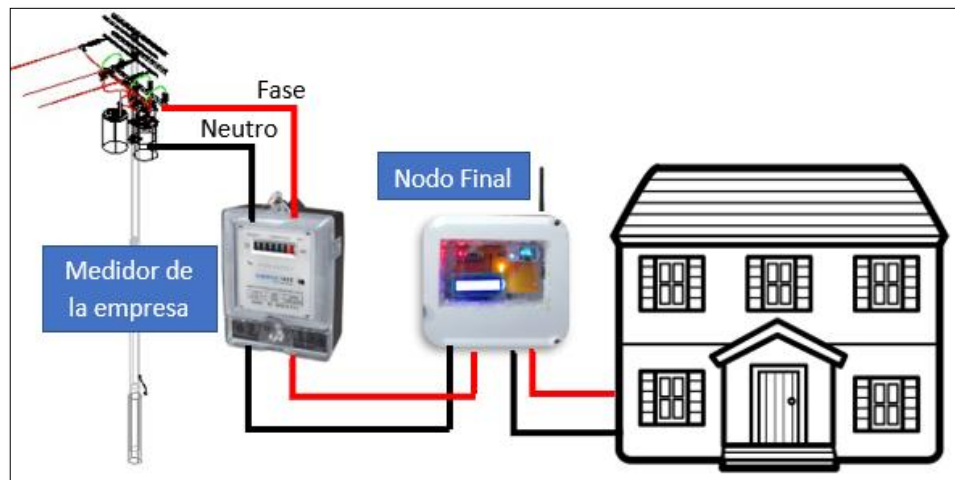
Figura 70: Ensamblado de nodo final

La instalación en las viviendas del prototipo se la realizo, en la parte exterior, siguiendo los cables luego del medidor de luz de la empresa de distribución, y antes de la caja de brekers, su instalación fue lo menos invasiva posible.



Figura 71: Instalación de los nodos finales en las viviendas

En la Figura 72 se muestra el esquema de conexión del nodo final respecto al medidor de energía de la empresa y la red eléctrica de la vivienda.



*Figura 72: Esquema de conexión del nodo final en la red eléctrica de la vivienda.
Elaborado por: El Investigador.*

Se instalaron un total de dos nodos finales en cada una de las viviendas seleccionadas para el estudio de monitoreo con se muestra en la Figura 73, para mayor protección en caso de lluvias se instaló en la parte superior de los dispositivos unas viseras metálicas.



Figura 73: Nodos finales instalados en las viviendas.

3.2 Verificación de Hipótesis

Las pruebas realizadas al sistema se realizaron en dos fases donde se comprobaron que las mediciones sean correctas para lo cual se contrastó las medidas del prototipo con un multímetro y también con el medidor de energía eléctrica de la empresa. En la primera fase se puso en funcionamiento solo el nodo final sin transmitir datos, previo

a la instalación en la vivienda, tomando mediciones de cargas individuales con el objetivo de contrastar los valores obtenidos por el prototipo con un instrumento de medición en este caso un multímetro digital de marca Hyrais modelo TS-201 este último tiene una pinza amperimétrica el cual permite medir los valores de corriente de una forma más rápida.

La segunda fase de pruebas se realizó luego de la instalación de los nodos finales en las viviendas, en donde se comenzó a tener registro del consumo dentro de la base de datos, y se mostraron los datos monitoreados en tiempo real en la interfaz web.

Dentro de la primera fase de pruebas se eligieron diez cargas, los cuales fueron electrodomésticos o herramientas eléctricas caseras, se tomaron mediciones de voltaje y de corriente RMS, luego se calculó la potencia, en la Tabla 19, se muestra los valores de voltaje adquiridos tanto por el prototipo como también los datos mostrados por el instrumento de medición.

El multímetro Hytais permite medir valores de voltaje RMS en los rangos de 2-20V y 200-600V con una precisión de +/- 1.2% + 2.

Tabla 19: Tabla comparativa de voltaje entre prototipo y multímetro

N°	Dispositivo	Voltaje RMS [V]	
		Multímetro	Prototipo
1	Esmeril	113.11	112.98
2	Taladro	114.21	114.18
3	Horno Microondas	115.10	115.06
4	Televisión	110.52	110.42
5	Plancha	114.97	115.02
6	Laptop	115.37	115.28
7	Licuadaora	114.50	114.47
8	Cautín	114.37	114.30
9	Refrigeradora	112.40	112.34
10	Pistola de silicona	115.22	115.17

Elaborado por: El Investigador.

La corriente RMS, se utilizó la pinza amperimétrica que trae el multímetro Hytais, que permite medir valores de corriente en los rangos de 2 – 20 A y 200 – 600 A, con una precisión de +/- 2.5% + 5, permitiéndole un rango total que va desde 0.1A hasta los 600A, tanto el multímetro como el prototipo utilizan un transformador de corriente, en la Figura 74 se observa el multímetro digital Hytais modelo TS-201.



Figura 74: Multímetro digital Hytais modelo TS-201

En la tabla 20, se encuentra la comparativa de los valores de corriente medidos por el multímetro y el prototipo.

Tabla 20: Tabla comparativa de voltaje entre prototipo y multímetro.

Nº	Dispositivo	Corriente RMS [A]	
		Multímetro	Prototipo
1	Esmeril	4.10	4.15
2	Taladro	2.41	2.35
3	Horno microondas	15.3	15.00
4	Televisión	0.67	0.67
5	Plancha	7.8	7.85
6	Laptop	0.32	0.30
7	Licuada	2.57	2.54
8	Cautín	0.27	0.28
9	Refrigeradora	4.02	4.02
10	Pistola de silicona	0.54	0.55

Elaborado por: El Investigador.

En la Figura 75, se ilustra el valor medido tanto con el prototipo a la izquierda es de 4.02 Amperios, así como con en el multímetro a la derecha es de 4.02 Amperios, esta

medición fue realizada a una refrigeradora, en la Tabla 20 se encuentra en el número 9.

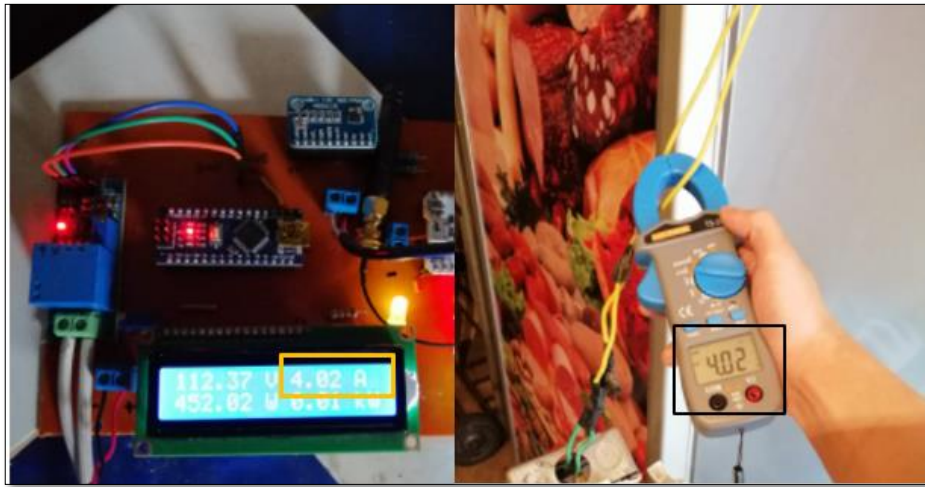


Figura 75: Comprobación de corriente del dispositivo 9.

La potencia se calculó a partir de los valores medidos de voltaje y corriente mostrados en las tablas 19 y 20 respectivamente, tanto del prototipo como del multímetro Hytais, obteniendo los resultados ilustrados en la Tabla 21.

Tabla 21: Potencia calculada y del prototipo

N°	Dispositivo	Potencia [W]	
		Calculada multímetro	Prototipo
1	Esmeril	463.75	468.87
2	Taladro	275.25	268.32
3	Horno microondas	1761.03	1725.90
4	Televisión	74.05	73.98
5	Plancha	896.77	902.91
6	Laptop	36.92	34.58
7	Licadora	294.27	290.75
8	Cautín	30.88	32.00
9	Refrigeradora	451.85	451.61
10	Pistola de silicona	62.22	63.34

Elaborado por: El Investigador

Análisis de Resultados

A partir de los datos tabulados de voltaje, corriente y potencia, se procedió al cálculo del error absoluto y el error relativo, de las mediciones realizadas por el multímetro y el prototipo para lo cual se utilizó las fórmulas (12) y (13).

$$\text{Error Absoluto} = \text{medición del multímetro} - \text{medición del prototipo} \quad (12)$$

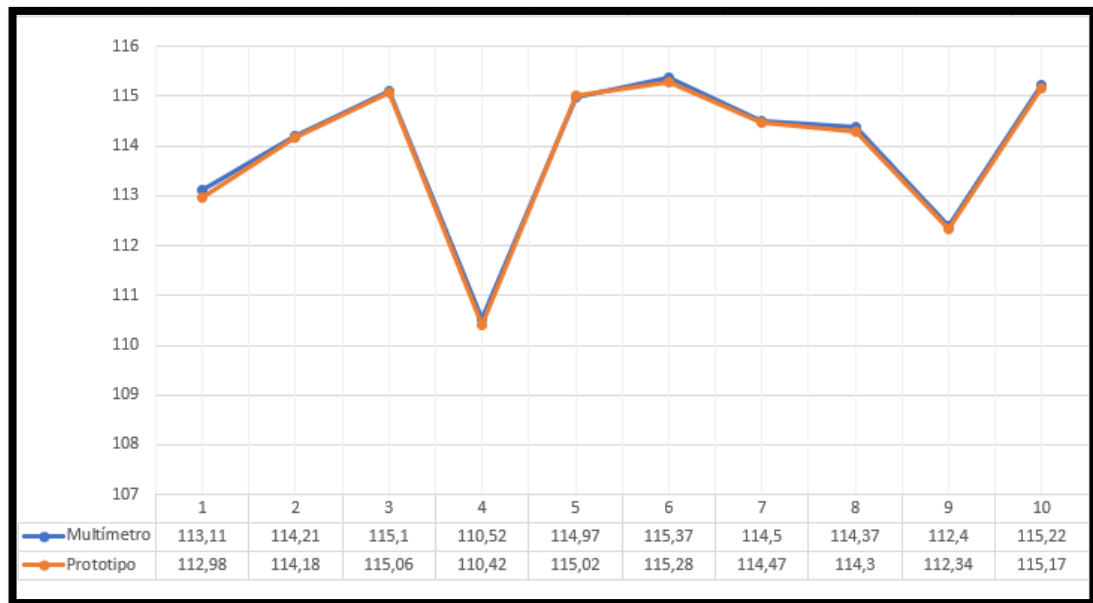
$$\text{Error Relativo} = \frac{\text{Error Absoluto}}{\text{medición multímetro}} \times 100 \quad (13)$$

En la Tabla 22, se muestra el cálculo del error absoluto y error relativo de los valores de voltaje medidos tanto por el prototipo como del multímetro digital Hytais TS-201, para los cual se tomó los valores de la Tabla 19

Tabla 22: Error en medición de voltaje

N.º	Voltaje (V)			Cálculo de errores	
	Dispositivo	Multímetro	Prototipo	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	Esmeril	113.11	112.98	0.13	0.115
2	Taladro	114.21	114.18	0.03	0.026
3	Horno microondas	115.10	115.06	0.04	0.035
4	Televisión	110.52	110.42	0.1	0.09
5	Plancha	114.97	115.02	0.05	0.043
6	Laptop	115.37	115.28	0.09	0.078
7	Licuadaora	114.50	114.47	0.03	0.026
8	Cautín	114.37	114.30	0.07	0.061
9	Refrigeradora	112.40	112.34	0.06	0.053
10	Pistola de silicona	115.22	115.17	0.05	0.043

Elaborado por: El Investigador



*Figura 76: Grafica de voltaje medidos por prototipo y multímetro
Elaborado por: El Investigador*

Si bien teóricamente se suele asumir que el voltaje de la red es fijo de un valor de 120Vrms, como se puede observar en la gráfica de la Figura 76, puede existir variaciones de voltaje dentro de una misma red eléctrica de una vivienda esto puede ser causado por varios factores como: instalaciones o artefactos eléctricos defectuosas, desgaste en contactos etc. Que son ajenos al instrumento de medición o prototipo, el contraste de las mediciones de voltaje entre el multímetro y el prototipo se puede concluir que existe un error aceptable.

En la Tabla 23, se realizó el cálculo de errores correspondientes a los valores de corriente medidos tanto por el prototipo como por el multímetro

Tabla 23: Error en medición de corriente

N.º	Corriente (A)			Cálculo de errores	
	Dispositivo	Multímetro	Prototipo	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	Esmeril	4.10	4.15	0.05	1.220
2	Taladro	2.41	2.35	0.06	2.490
3	Horno microondas	15.30	15.00	0.30	1.961

4	Televisión	0.67	0.67	0	0
5	Plancha	7.80	7.85	0.05	0.641
6	Laptop	0.32	0.30	0.02	6.250
7	Licuada	2.57	2.54	0.03	1.167
8	Cautín	0.27	0.28	0.01	3.704
9	Refrigeradora	4.02	4.02	0	0
10	Pistola de silicona	0.54	0.55	0.01	1.852

Elaborado por: El Investigador

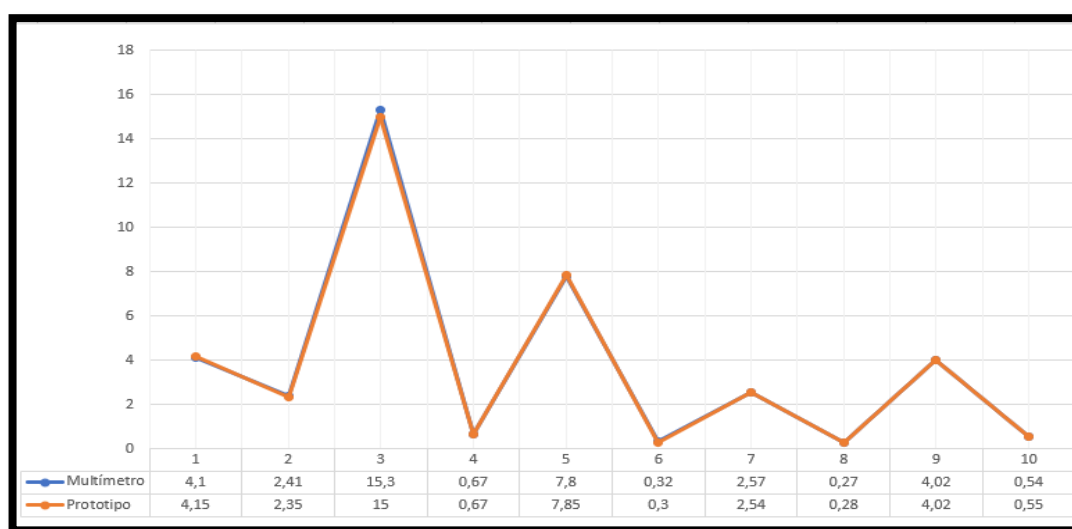


Figura 77: Gráfica de corriente medidos por prototipo y multímetro
Elaborado por: El Investigador

Las mediciones de corriente como se observa en la Tabla 23 y Figura 77, son muy cercanos, pero se debe tomar en cuenta que, pueden existir variaciones mínimas en los valores recogidos tanto en el multímetro como en sensor del prototipo, ya que ambos tienen forma de pinza que rodea el cable por donde pasa la energía, y esto depende del ángulo, por lo que se recomienda que el dispositivo de medición sea el multímetro o el sensor SCT013-100, se encuentren en una posición perpendicular respecto al cable, y así disminuir el error en los valores medidos.

El error de potencia fue analizado a partir de los valores calculados de voltaje y corriente, del multímetro y del prototipo, como se ilustra en la Tabla 24.

Tabla 24: Error en medición de potencia

N.º	Potencia (W)			Cálculo de errores	
	Dispositivo	Multímetro	Prototipo	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	Esmeril	463.75	468.87	5.12	1.104
2	Taladro	275.25	268.32	6.93	2.518
3	Horno microondas	1761.03	1725.90	35.13	1.995
4	Televisión	74.05	73.98	0.07	0.095
5	Plancha	896.77	902.91	6.14	0.685
6	Laptop	36.92	34.58	2.34	6.338
7	Licuada	294.27	290.75	3.52	1.196
8	Cautín	30.88	32.00	1.12	3.627
9	Refrigeradora	451.85	451.61	0.24	0.053
10	Pistola de silicona	62.22	63.34	1.12	1.800

Elaborado por: El Investigador

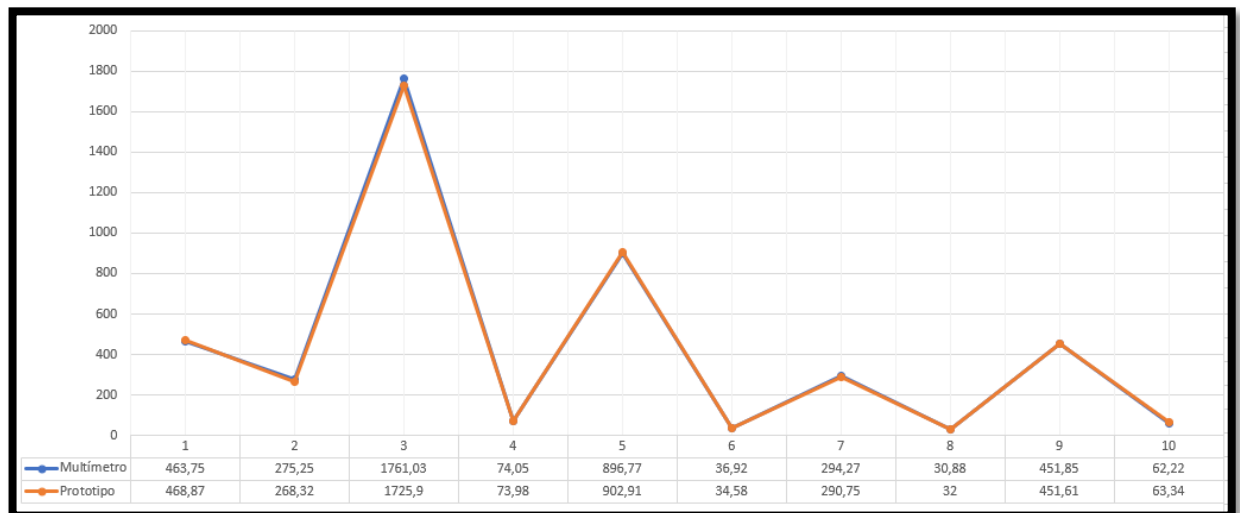


Figura 78: Grafica de potencia calculados del prototipo y multímetro
Elaborado por: El Investigador

La grafica tanto de la corriente como de la potencia, guardan mucha relación, la potencia calculada a partir del prototipo presenta un error aceptable, respecto al instrumento de medida de referencia Hytais modelo TS-201.

Luego de la realización de las pruebas con cargas individuales cuyos resultados fueron favorables, se continuo con las pruebas en las viviendas seleccionadas para llevar a cabo el monitoreo de consumo de energía eléctrica.

Pruebas de alcance de módulos LoRa

Según los fabricantes se indica que los módulos Heltec LoRa 32 tiene un alcance efectivo dentro de una zona urbana de 5km, pero una vez realizada pruebas físicas con un nodo transmisor fijo, y un nodo receptor móvil se determinó que en realidad el alcance efectivo en una zona urbana densa es de un área circular con un radio de 600m.



*Figura 79: Alcance máximo de comunicación LoRa en el barrio Simón Bolívar, Ambato
Elaborado por: El Investigador*

El alcance de la comunicación es afectado por la irregularidad del terreno y la alta densidad de construcciones que existe, se eligió aplicar el modelo de propagación Okumura-Hata el cual es comúnmente aplicado en el análisis de señales en zonas urbanas, donde se utilizan frecuencias que van desde 150Mhz hasta 1920Mhz con distancias de hasta 100km[51] y se determinó que las pérdidas son de 171.64dB, esto

se calculó con la ayuda del software RadioWorks como se ilustra en la Figura 80, donde las estación base se fijó a una altura de 3 metros, y la estación receptora móvil a 2, la frecuencia de operación de 915Mhz, y la distancia máxima de 600 metros.

Input Parameters

Base Station Antenna Height: 3 Feet Meters

Mobile Station Antenna Height: 2 Feet Meters

Distance Between Base / Mobile: 0.6 Miles Kilometers

Transmission Frequency (MHz): 915

Calculate Graph

Result

Path Loss: 171.64 dB

Mathematical Formula (Click for Details)

$$L_v = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - C_R + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d)$$

*Figura 80: Calculo de perdidas con el modelo de propagación Okumura-Hata
Elaborado por: El Investigador*

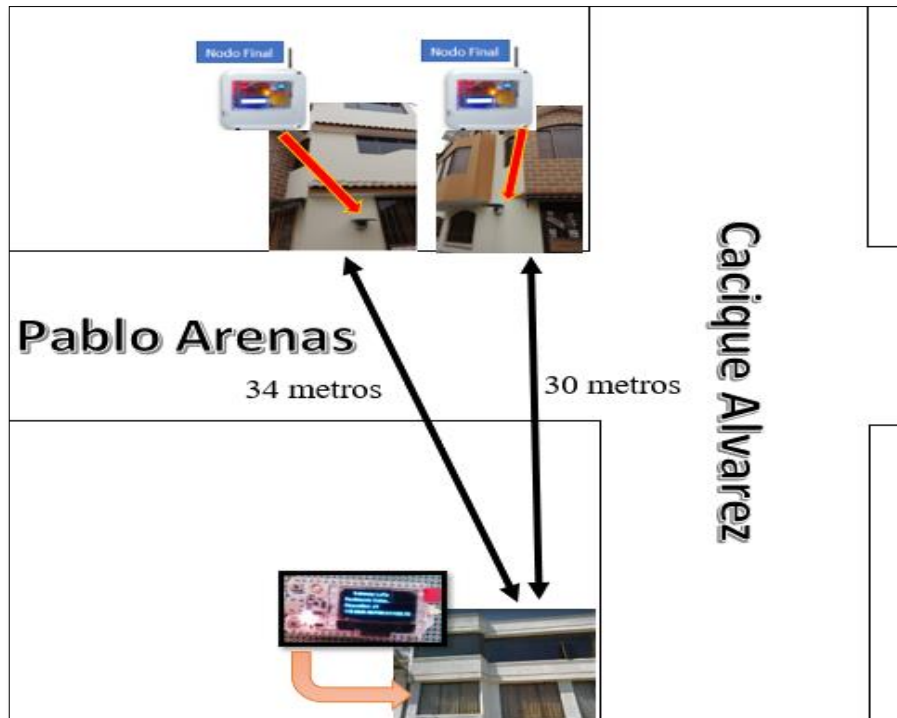
Si se sobrepasa los 600 metros de distancia entre el nodo transmisor y el nodo receptor, la comunicación comienza a ser inestable y finalmente es interrumpida.

Las viviendas donde se implementaron los nodos finales se encuentran en las calles Cacique Álvarez y Pablo Arenas, en Ambato, a una distancia del Gateway de 30 metros.



*Figura 81: Ubicación de las viviendas donde se instalaron los nodos finales
Elaborado por : El Investigador*

En la Figura 82, se ilustra un croquis de la ubicación física de los nodos finales y el gateway.



*Figura 82: Croquis de la ubicación física del sistema
Elaborado por: El Investigador*

Aplicando el modelo de propagación Okumura-Hata con los mismos parámetros anteriores a excepción de la distancia, se obtiene una pérdida de 159.06dB, como se encuentra a una distancia cercana se garantiza una óptima comunicación entre los nodos finales y el gateway LoRa.

Pruebas de Funcionamiento del Sistema en las Viviendas

Luego de las primeras pruebas realizadas al circuito de los nodos finales, y también comprobado el alcance de la comunicación LoRa, se procedió a las pruebas en las viviendas, para lo cual se seleccionó dos hogares, el nodo final 1 se instaló en la casa de la familia Padilla, y el nodo final 2 en la casa de la familia Echeverría.

Luego de la instalación en cada una de las viviendas se procedo a realizar la medición, manual con un multímetro de los valores de voltaje y corriente, en cada nodo final.

En la Figura 83, se muestra la medición de voltaje realizada a la vivienda de la familia Padilla nodo final 1.

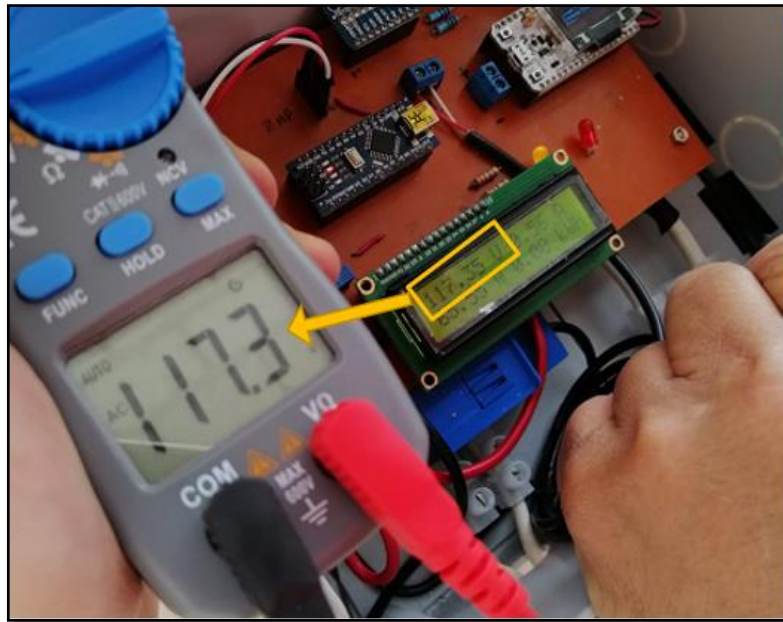


Figura 83: Medición de voltaje en la vivienda de la familia Padilla

También se comprobó los valores medidos de corriente en la vivienda y se los comparo entre el prototipo y el multímetro, como se muestra en la Figura 84.

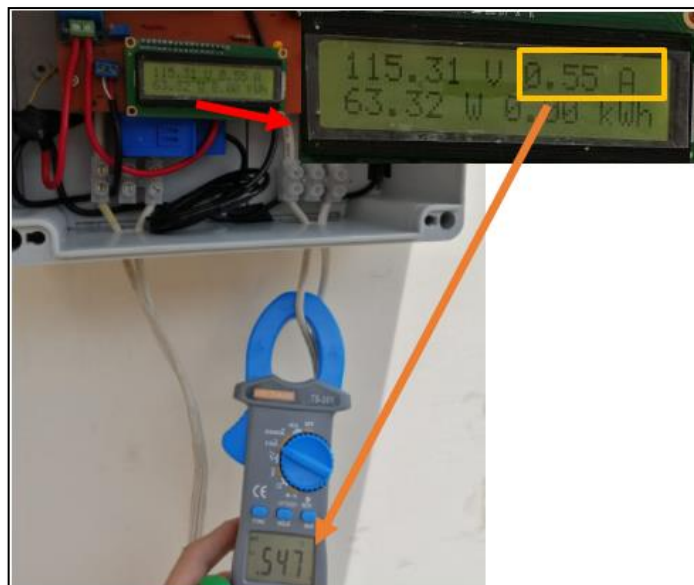


Figura 84: Medición de corriente en la vivienda de la familia Padilla

Se constato la lectura de valores de voltaje y corriente, que realiza el nodo final son correctas, luego se procedió de igual forma a comprobar las mediciones realizadas por el nodo final 2 instalado en la vivienda de la familia Echeverria.

En la Figura 85, se muestra la comparación en la medición de voltaje entre el prototipo instalado en la vivienda con el multímetro.

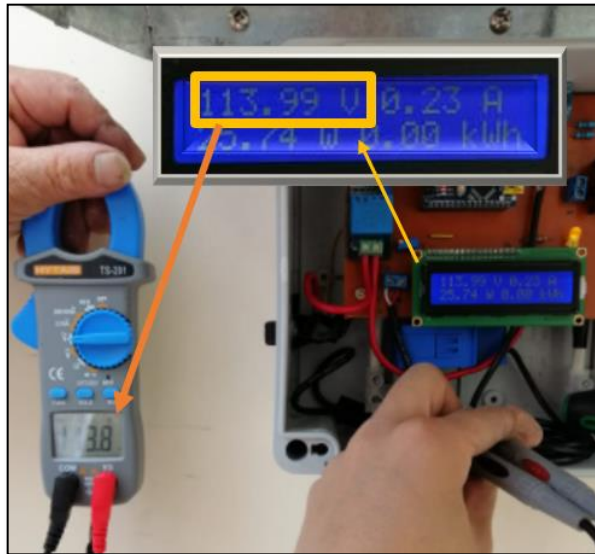


Figura 85: Medición de voltaje en la vivienda de la familia Echeverria.

De igual forma también se comprobó la medición de los valores de corriente tal como lo muestra la Figura 86.

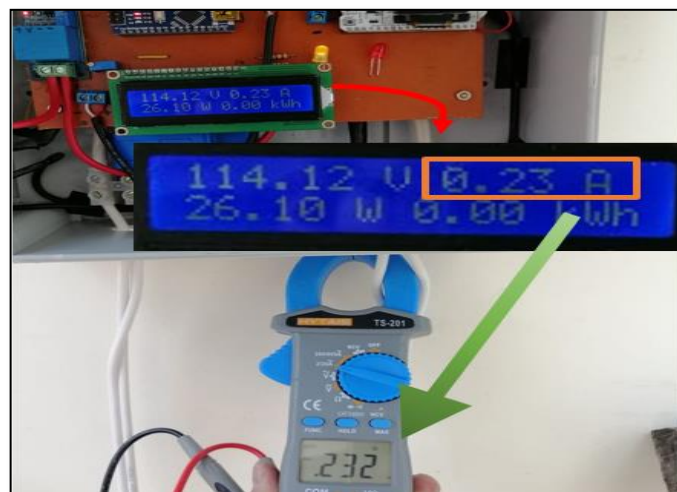


Figura 86: Medición de corriente en la vivienda de la familia Echeverria

Luego de comprobar que el funcionamiento de cada nodo final es el correcto, se comenzó la transmisión de datos hacia el gateway.

En el gateway se comprobó la llegada de los datos por medio de comunicación LoRa, como se muestra en la Figura 87.



Figura 87: Gateway recibiendo datos desde los nodos finales

En la Figura 87, se puede detallar, que indica cual nodo final ha enviado un mensaje e imprime el identificador de este dispositivo, en este caso es del nodo final *d1* instalado en la vivienda de la familia Padilla, en la última línea se observa la trama recibida, separado por comas cada uno de los valores de voltaje, corriente, potencia y kWh.

Una vez recibida la trama el gateway publica con los diferentes tópicos los valores enviados por los nodos finales, para comprobar que existe envío de datos se accedió en el servidor al bróker por medio del comando *mosquitto_sub*, así, Figura 88.

```
ubuntu@ubuntu: ~  
ubuntu@ubuntu:~$ mosquitto_sub -h localhost -t medidor/loraD1/total  
117.85,6.55,771.33,108.79  
117.77,6.47,761.98,108.79  
118.06,6.46,762.34,108.79  
118.09,6.51,769.14,108.80  
117.51,6.53,767.16,108.80
```

*Figura 88: Publicación de datos en el bróker MQTT
Elaborado por: El Investigador*

Los dispositivos están programados para enviar datos hacia el gateway en un intervalo de un segundo, por lo que en la interfaz web, se visualiza los valores de ambas viviendas que constantemente se actualizan en la página *index.html*, esto como se muestra en la Figura 89.

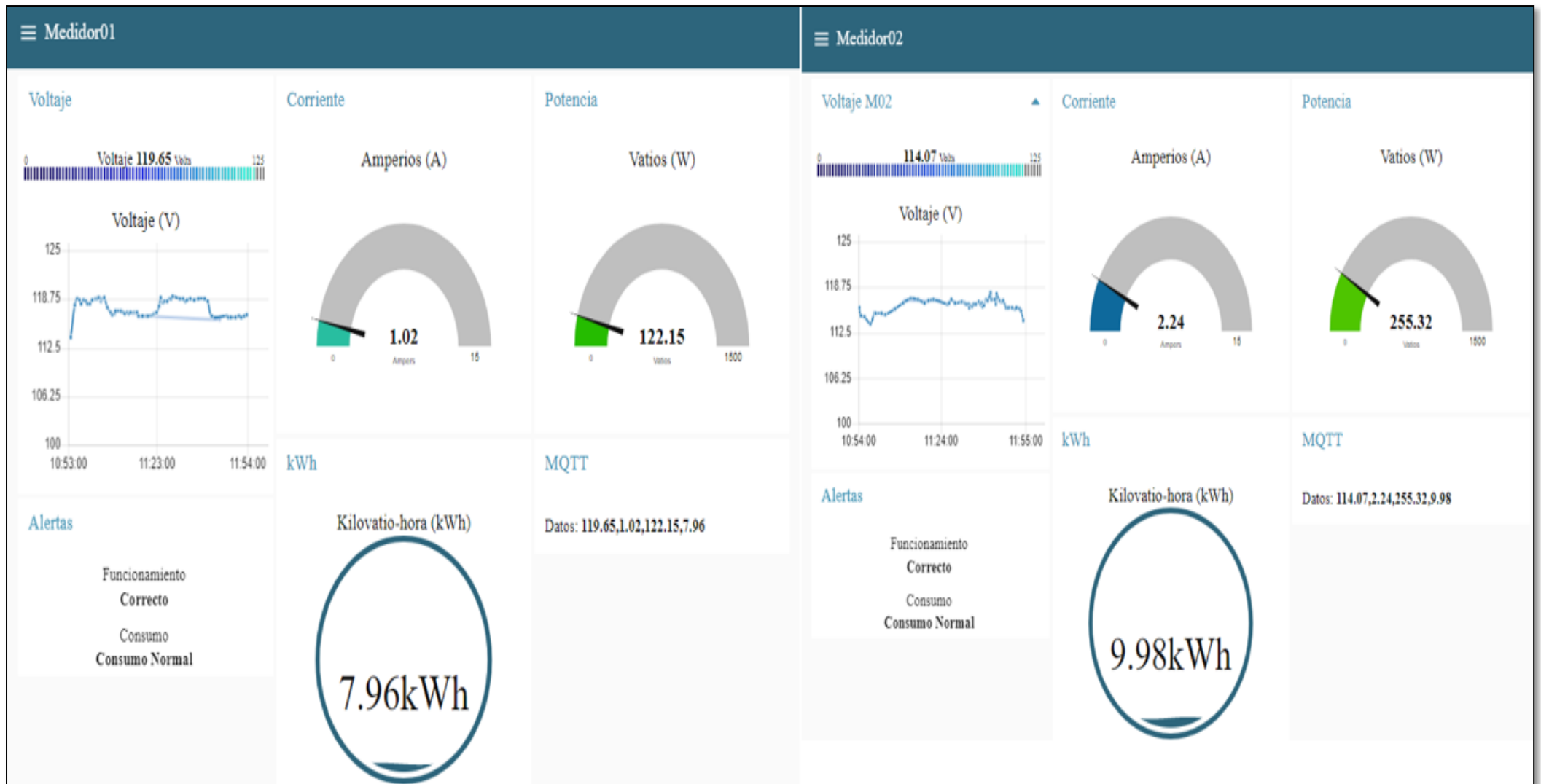


Figura 89: Monitoreo de consumo de energía de cada vivienda en estudio.
 Elaborado por: El Investigador

Los valores fueron almacenados en un intervalo de una hora en la base de datos de MariaDB, en la base “lecturas”, para la vivienda de la familia Padilla se almaceno en la tabla “med”, y para la familia Echeverria en la tabla “med2”, como se muestra en la Figura 90.

id	voltaje	corriente	potencia	kwh	fecha
1	118.22	2.01	237.68	0.48	2021-03-31 19:06:13
2	114.06	2.25	256.24	0.83	2021-03-31 20:06:16
3	117.79	1.83	216.13	1.18	2021-03-31 21:06:36
4	117.73	5.22	614.82	1.55	2021-03-31 22:06:57
5	118.06	1.8	211.99	1.83	2021-03-31 23:07:07
6	118.91	0.97	115.15	2.04	2021-04-01 00:07:14
7	117.62	0.86	101.58	2.14	2021-04-01 01:07:16
8	118.51	0.84	99.95	2.38	2021-04-01 02:08:31
9	118.5	0.82	97.4	2.7	2021-04-01 04:08:58
10	118.61	0.78	92.72	2.89	2021-04-01 05:08:59
11	118.03	1.71	201.56	3.06	2021-04-01 06:09:08
12	116.39	0.84	97.64	3.31	2021-04-01 07:09:12

*Figura 90: Información almacenada en la base de datos del consumo de energía
Elaborado por: El Investigador*

Como se observa en la Figura 90, ambas tablas almacenan los valores de voltaje, corriente, potencia, kWh consumidos, acompañado de la fecha y hora, del registro.

Cuando se registró un alto consumo de energía eléctrica, la alertas fueron enviadas a través de Telegram, indicando de cual medidor se registró un alto consumo, en la Figura 91, se detalla el mensaje recibido



*Figura 91: Mensajes de alerta recibidos en Telegram.
Elaborado por: El Investigador*

También se realizó pruebas para cuando exista algún corte de energía, para lo cual se desconectó desde los medidores de la empresa, e inmediatamente recibiendo un mensaje de alerta informando sobre el fallo en los nodos finales, esto se muestra en la Figura 92.



*Figura 92: Mensajes de alerta en Telegram sobre fallo en los nodos finales.
Elaborado por: El Investigador*

Para la consulta sobre el consumo actual de kilovatios-hora, se utilizó los comandos previamente programados en el bot de Telegram, de igual forma para consultar el valor de la potencia promedio consumida por la vivienda como se observa en la Figura 93, todos los valores con los que responde el bot, están almacenados en la base de datos.



*Figura 93: Uso de comandos para interactuar con el bot en Telegram
Elaborado por: El Investigador*

Para la segunda fase de pruebas sistema fue puesto a funcionar durante el periodo de un mes desde la fecha 30 de marzo del 2021 19H00, hasta el 1 de mayo 08H00 del mismo año, con el objetivo de verificar el correcto desempeño del prototipo, y comparar los resultados de consumo en kWh con el medidor de energía eléctrica de la empresa distribuidora.

El día 30 de marzo se tomó lectura de los kWh registrado en los medidores correspondientes a las viviendas monitoreadas, a partir de estos valores se tomó referencia para comparar con los kWh calculados por el prototipo.

Para la familia Padilla donde se encuentra el nodo final 1, se encuentra ubicado el medidor n° 421573, correspondiente a la cuenta: 213494 en la Empresa Eléctrica Ambato en la Figura 94 se encuentra a la izquierda, al día 30 de marzo registro un consumo de 7204 kWh, para la familia Echeverria, se instaló el nodo final 2 se tiene el medidor n° 421881, correspondiente el número de cuenta: 213492, el cual registro un consumo de 11163 kWh, esto se observa en la Figura 94 al lado derecho.



Figura 94: Lectura de medidores el primer día de pruebas.

Elaborado por: El Investigador

El prototipo tomó la primer muestra el 30 de marzo iniciando en 0 las lecturas de consumo de kWh, luego del periodo de prueba se registraron los siguientes valores en

el prototipo, en el nodo final 1 se obtuvo 179 kWh, mientras en el nodo final 2 se registró 230 kWh, como se muestra en la Figura 95, todos estos valores se encuentran en las tablas “med” y “med2” de la base de datos.

MEDIDOR 01	
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete 699 118.24 4.54 537.02 179.32 2021-05-01 08:09:18	
Última Lectura	
kWh	FECHA
179.32	2021-05-01 08:09:18

MEDIDOR 02	
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete 713 116.03 1.54 178.26 230.11 2021-05-01 08:09:18	
Última Lectura	
kWh	FECHA
230.11	2021-05-01 08:09:18

Figura 95: Últimas lecturas de consumo registrados por los nodos finales
 Elaborado por: El Investigador

Finalmente, las lecturas registradas en los medidores de energía de la empresa de distribución a la fecha de 1 de mayo fueron como se muestra en la Figura 96.



Figura 96: Lectura de medidores último día de pruebas
 Elaborado por: El Investigador.

En el medidor ubicado en la vivienda de la familia Padilla al final del periodo se registró un consumo igual a la diferencia de la lectura del primer día mostrado en la Figura 94 menos la lectura del último día de la Figura 96:

$$\text{Consumo mensual} = \text{lectura actual} - \text{lectura anterior}$$

$$\text{Consumo mensual} = 7385 - 7204$$

$$\text{Consumo mensual} = 181 \text{ [kwh]}$$

De igual forma se realizó el cálculo para el consumo mensual registrado en la vivienda de la familia Echeverria.

$$\text{Consumo mensual} = 11394 - 11163$$

$$\text{Consumo mensual} = 231 \text{ [kwh]}$$

En la Tabla 25, se realizó la comparativa entre las lecturas de consumo registrado por el prototipo y el medidor de energía de la empresa.

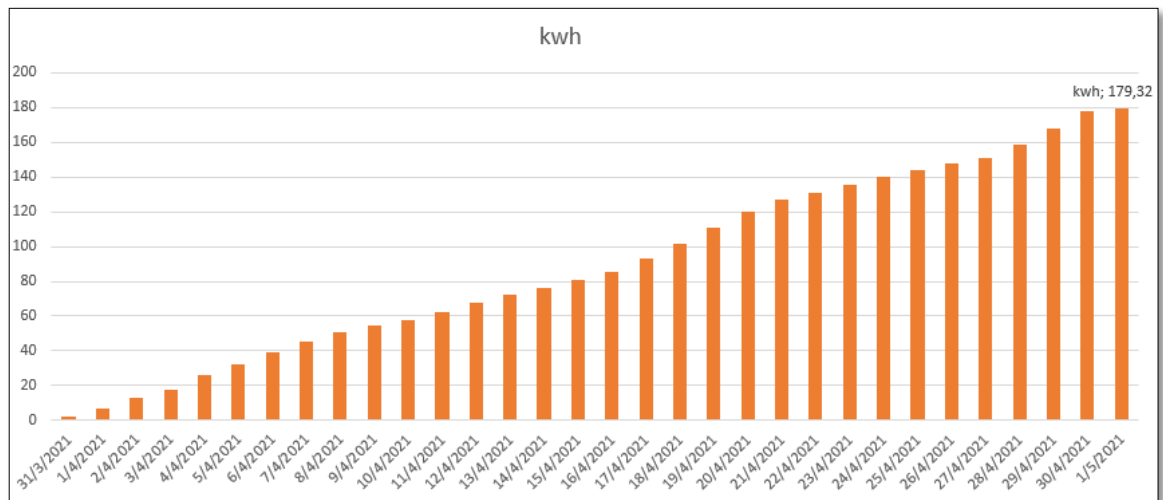
Tabla 25: Comparativa entre consumo registrado por el prototipo y medidor

Vivienda familia Padilla – Nodo final 1			
Medidor [kWh]	Prototipo [kWh]	Error absoluto	Error relativo (%)
181	179	2	1.105
Vivienda familia Echeverria – Nodo final 2			
Medidor [kWh]	Prototipo [kWh]	Error absoluto	Error relativo (%)
231	230	1	0.433

Elaborado por: El Investigador

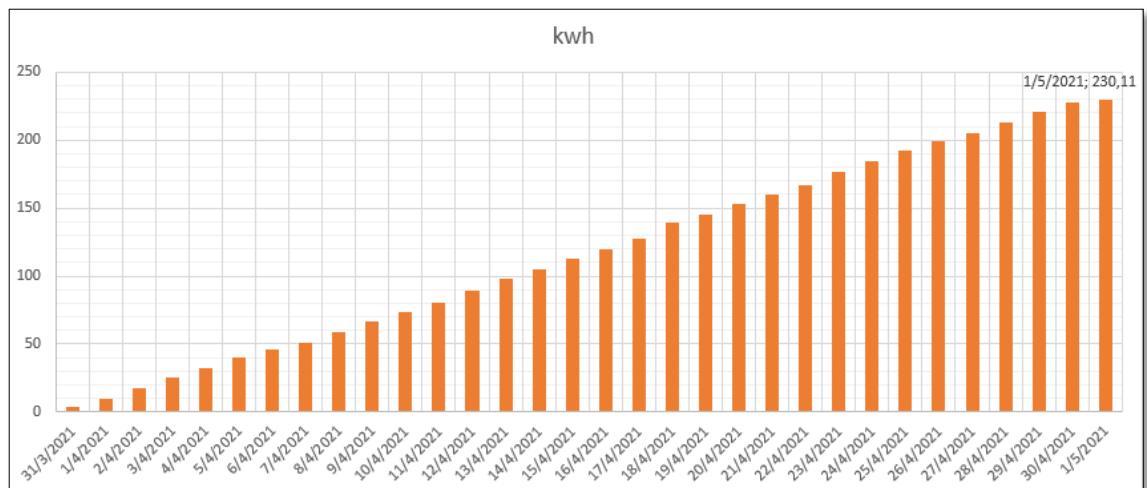
Como se observa en la Tabla 25, en ambos casos las lecturas tienen un error aceptable entre el medidor de energía y el prototipo del sistema de monitoreo, con lo cual se verifico el correcto funcionamiento tanto del nodo final 1 como del nodo final 2

En la Figura 97 se tiene la gráfica de la evolución de consumo registrado por la vivienda 1 durante el mes de prueba



*Figura 97: Grafica del mes consumo de energía eléctrica de la vivienda 1.
Elaborado por: El Investigador*

De igual manera se muestra en la Figura 98, la evolución del consumo de energía eléctrica en la vivienda 2 durante el mes de prueba.



*Figura 98: Grafica del mes consumo de energía eléctrica de la vivienda 2.
Elaborado por: El Investigador.*

A partir de los valores de consumo registrados en la empresa eléctrica en los meses del último año se realizó una comparativa.

En la Figura 99, se muestra el histórico de consumo de energía en kWh de la vivienda 1 de la Familia Padilla.

Fecha Doc. ↑↓	Mes Consumo	Lectura Anterior (kWh)	Lectura Actual (kWh)	Factor	Consumo (kWh)
01-05-2020	202004	5741.0	5853.0	1.0	112.0
01-06-2020	202005	5853.0	5997.0	1.0	144.0
01-07-2020	202006	6018.0	6147.0	1.0	129.0
01-09-2020	202008	6252.0	6347.0	1.0	95.0
01-10-2020	202009	6347.0	6452.0	1.0	105.0
01-11-2020	202010	6452.0	6570.0	1.0	118.0
01-12-2020	202011	6570.0	6686.0	1.0	116.0
02-01-2021	202012	6686.0	6799.0	1.0	113.0
01-02-2021	202101	6799.0	6920.0	1.0	121.0
01-03-2021	202102	6920.0	7033.0	1.0	113.0

*Figura 99: Histórico de consumo de la vivienda de la Familia Padilla.
Elaborado por: El Investigador*

Se aplicó el método de regresión lineal de mínimos cuadrados en la Tabla 26, para conocer el comportamiento a futuro del consumo de energía en base a los datos de consumo de los meses anteriores.

Tabla 26: Regresión lineal para la vivienda 1

n=10	x	y	x*y	x ²	y=mx+b
May-20	1	112	112	1	120.85
Jun-20	2	114	288	4	119.90
Ago-20	3	129	387	9	118.96
Sep-20	4	95	380	16	118.01
Oct-20	5	105	525	25	117.07
Nov-20	6	118	708	36	116.12
Dic-20	7	116	812	49	115.18
Ene-21	8	113	904	64	114.23
Feb-21	9	121	1089	81	113.29
Mar-21	10	113	1130	100	112.34
Sumatorio	55	1166	6335	385	
Promedio	5.5	116.6	m= -09454; b=121.8		

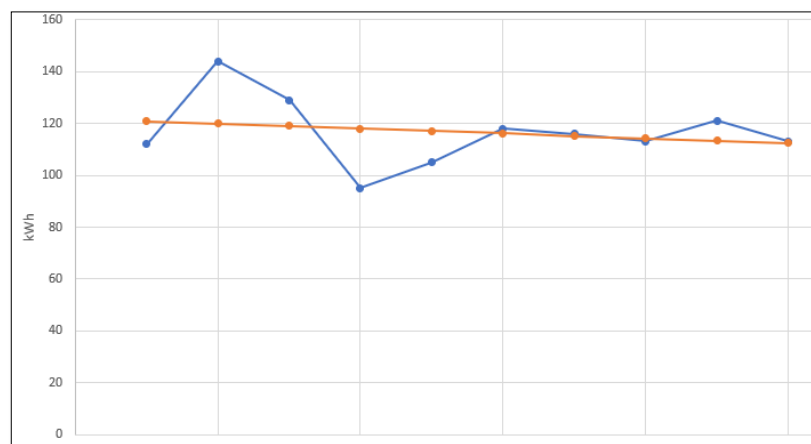
Elaborado por: El Investigador

En la Tabla 26 se ocuparon las fórmulas (14) y (15) para obtener los valores de m y b de la formula $y = mx + b$.

$$m = \frac{n * \sum(x * y) - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - |\sum x|^2} \quad (14)$$

$$b = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * \sum(x * y)}{n * \sum x^2 - |\sum x|^2} \quad (15)$$

En la Figura 100, se muestra la gráfica de los valores de kWh consumidos de color azul y el ajuste de la curva realizada de color naranja.



*Figura 100: Ajuste a la curva de consumo de energía histórico de la vivienda 1.
Elaborado por: El Investigador*

En el mes de abril de 2021, en la página de la empresa eléctrica Ambato se registró según se observa en la figura 101 la lectura manual de consumo.

DETALLE DE FACTURAS POR CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA						
Nro. Factura ↑↓	Fecha Doc. ↑↓	Mes Consumo	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor	Consumo kWh
001012-15996504	01-05-2021	202104	7162.0	7304.0	1.0	142.0

*Figura 101: Consumo del mes de abril 2021 de la vivienda 1 registrado en la empresa.
Elaborado por: El Investigador*

Como se observa se tiene un consumo de 142 kWh en contraste el prototipo registró un consumo de 179kWh, existiendo una diferencia de 37 kWh, las causas de esta diferencia se debe a que la empresa tiene un periodo entre lecturas de cada mes que va

de 28 a 33 días, y también a que se tomó como punto de partida del mes de prueba del sistema en diferentes lecturas, ya que en la empresa eléctrica la lectura inicial para el mes de abril fue de 7162 kWh, mientras que a la fecha de 30 de marzo, que inicio el funcionamiento el prototipo, el medidor de la empresa registró un consumo de 7204 kWh, existiendo una diferencia de 42 kWh, sin embargo, como se demostró en la Tabla 25, las lecturas registrada entre el medidor de energía eléctrica de la empresa tomando como partida la lectura de 7204 kWh con el prototipo del sistema que empezó con la lectura de 0 kWh en un mismo periodo de funcionamiento tuvo un error absoluto de 2 kWh en la vivienda de la familia Padilla.

De igual forma para el consumo de la vivienda 2 de la Familia Echeverria se partió el estudio en base al histórico registrado en la empresa eléctrica como se muestra en la Figura 102.

Fecha Doc. ↑↓	Mes Consumo	Lectura Anterior (kWh)	Lectura Actual (kWh)	Factor	Consumo (kWh)
01-06-2020	202005	9040.0	9227.0	1.0	187.0
01-07-2020	202006	9305.0	9482.0	1.0	177.0
01-09-2020	202008	9666.0	9844.0	1.0	178.0
01-10-2020	202009	9844.0	10079.0	1.0	235.0
01-11-2020	202010	10079.0	10283.0	1.0	204.0
01-12-2020	202011	10283.0	10476.0	1.0	193.0
02-01-2021	202012	10476.0	10640.0	1.0	164.0
01-02-2021	202101	10640.0	10791.0	1.0	151.0
01-03-2021	202102	10791.0	10926.0	1.0	135.0
01-04-2021	202103	10926.0	11110.0	1.0	184.0

*Figura 102: Histórico de consumo de la vivienda de la Familia Echeverria.
Elaborado por: El Investigador*

A partir de estos datos se realizó la regresión lineal de mínimos cuadrados en la Tabla 27, calculando la ecuación $y = mx + b$, con las ecuaciones (14) y (15)

Tabla 27: Regresión lineal para la vivienda 2

n=10	x	y	x*y	x^2	y=mx+b
May-20	1	187	187	1	199.618
Jun-20	2	177	354	4	195.369
Ago-20	3	178	534	9	191.121
Sep-20	4	235	940	16	186.872
Oct-20	5	204	1020	25	182.624
Nov-20	6	193	1158	36	178.375
Dic-20	7	164	1148	49	174.127
Ene-21	8	151	1208	64	169.878
Feb-21	9	132	1188	81	165.63
Mar-21	10	184	1840	100	161.381
Sumatorio	55	1805	9577	385	
Promedio	5.5	180.5	m= -4.248; b=203.866		

Elaborado por: El Investigador.

En la Figura 103, se observa el ajuste de la curva de color naranja, con los datos de consumo mensual en color azul.

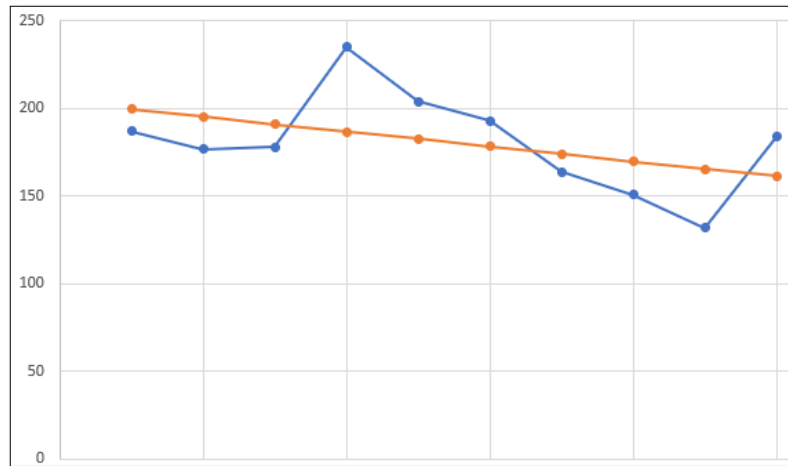


Figura 103: Ajuste a la curva de consumo de energía histórico de la vivienda 2

Elaborado por: El Investigador

En esta vivienda, el consumo registrado en el mes de abril por la empresa eléctrica se observa en la Figura 104.

DETALLE DE FACTURAS POR CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA						
Nro. Factura ↑↓	Fecha Doc. ↑↓	Mes Consumo	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor	Consumo kWh
001012-15996502	01-05-2021	202104	11110.0	11312.0	1.0	202.0

*Figura 104: Consumo del mes de abril 2021 de la vivienda 2 registrado en la empresa.
Elaborado por: El Investigador*

Según la lectura de la empresa eléctrica Ambato, en el mes de abril 2021 la vivienda 2 tuvo un consumo de 202 kWh, en contraste con los 230 kWh registrado por el prototipo, de igual forma que en el caso de la vivienda anterior existe una diferencia, en este caso de 28 kWh, encontrándose con el mismo inconveniente sobre la lectura inicial, que en el caso de la empresa eléctrica se tiene de punto de inicio del consumo del mes de abril 11110 kWh, mientras que a la fecha de 30 de marzo, se registró la lectura de 11163 kWh, existiendo una diferencia de 53 kWh, esto debido a las diferentes fechas de inicio de periodo de consumo, entre lo registrado por la empresa y el del comienzo del funcionamiento del prototipo, sin embargo, como se observa en la Tabla 25, teniendo como punto inicial la lectura del 30 de marzo de 11163 kWh en el medidor de energía de la empresa y el prototipo empezando con un valor de 0 kWh, se contrasto el consumo registrado entre ambos y teniendo un error absoluto de 1 kWh.

Presupuesto del Proyecto

El presupuesto total para el proyecto se lo detalló en la Tabla 28.

Tabla 28: Presupuesto del proyecto

Presupuesto				
N.º	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Total
1	Arduino nano	2	5.50	11
2	Heltec WiFi LoRa 32	3	20	60
3	Raspberry pi modelo 3B	1	45	45
4	LCD 16x2	2	4	8
5	ADS1115	2	5	10
6	SCT013-000 100 (sensor de corriente)	2	10	20

7	ZMPT101B (sensor de voltaje)	2	7.50	15
8	Adaptador DC 5v 2A	2	4	8
9	Espadines hembra	4	0.5	2
10	Resistencias	8	0.05	0.4
11	Borneras	4	0.25	1
12	Baquelita A4	1	4.50	4.50
13	Estaño (metros)	1	0.5	0.5
14	Caja de revisión (Carcaza)	2	4	8
Total				193.40

Elaborado por: El Investigador

Análisis Costo-Beneficio

Para determinar la factibilidad del proyecto se realizó un análisis de costo-beneficio, para lo cual a partir del valor del presupuesto del prototipo se realizó primero un estudio de Valor Actual Neto (VAN), primero se determinó el valor que la empresa de distribución emplea para realizar las lecturas de los medidores, lo cual es regulado por la SERCOP y establece los valores como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29: Tabla del valor de lecturas de medidores de energía SERCOP[52]

N.	Zona	Capacidad de lectura por operario	Valor (Dólares)
1	Urbana	600	\$0.12
2	Rural	250	\$0.23
3	Rural Alejada	70	\$0.83
4	Rural Fluvial	50	\$1.14
Promedio			\$0.58

Elaborado por : El Investigador

Para el cálculo del VAN se estableció los valores anuales por lectura y otros rubros como la contemplación de cualquier imprevisto sea por transporte, etc. Del personal que realiza las lecturas en cada mes como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30: Valores anuales

Valores anuales			
N.	Detalle	Valor mensual	Valor anual
1	Lectura	\$0.58	\$6.96
2	Dos nodos finales	\$1.16	\$13.92
3	Imprevistos	\$2	\$24
Suma (N.2 + N.3):			\$37.92

Elaborado por: El Investigador

La inversión inicial del sistema tiene un valor de \$193.40, y se consideró un tiempo de vida útil de 10 años.

Para el cálculo del VAN se utilizó la formula (16):

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F}{(1+k)^t} \quad (16)$$

Donde[53]:

- F = Flujos de dinero.
- I = Inversión inicial
- n = número de periodos
- k = Interés de la inversión

El interés fue fijado según el Banco Central del Ecuador a mayo 2021 de 9.33% dentro de la categoría de tasa activa referencial, con lo cual se establecieron los datos de la siguiente manera.

- F = \$37.92.
- I = \$193.40
- n = 10 años
- k = 9.33%

A partir de estos datos se calculó el VAN como se muestra en la Tabla 31

Tabla 31: Calculo del Valor Actual Neto (VAN)

Valor de inversión inicial $I = -193.40$		
Interés $k = 9.33\%$		
Años	Flujo de dinero	$\frac{F}{(1+k)^t}$
1	37.92	34.68
2	37.92	31.72
3	37.92	29.02
4	37.92	26.54
5	37.92	24.28
6	37.92	22.20
7	37.92	20.31
8	37.92	18.58
9	37.92	16.99
10	37.92	15.54
VAN		46.40

Elaborado por: El Investigador.

A partir del valor obtenido del VAN se determinó la factibilidad de la inversión del proyecto teniendo en cuenta los siguientes criterios[53]:

- $VAN > 0$: La inversión generará ganancias, el proyecto es factible.
- $VAN = 0$: El proyecto no generara ganancias ni perdidas.
- $VAN < 0$: El proyecto no es factible y generara perdidas

Con lo cual siendo el $VAN = 46.40$, se concluye que se obtendrán resultados positivos con la implementación del sistema de monitoreo del presente proyecto.

En la Tabla 32, se detalla el periodo de recuperación de la inversión en el periodo de la vida útil del sistema, estos valores fueron tomados de la tercera columna de la Tabla 31.

Tabla 32: Tiempo de recuperación de la inversión

Años	Recuperación de inversión
1	34.68
2	31.72
3	29.02
4	26.54
5	24.28
6	22.20
7	20.31
8	18.58
9	16.99
10	15.54
Beneficios(sumatoria)	\$239.86

Elaborado por: El Investigador.

Finalmente se determinó la relación costo-beneficio, que se obtiene de dividir los beneficios calculados en la Tabla 32 igual a \$239.86, sobre los costos que es el valor de inversión inicial de \$193.40.

Si el B/C , que se obtiene es un valor mayor que 1, el proyecto se le considera rentable, si el resultado es igual o menos que 1 el proyecto no es rentable.

$$\frac{B}{C} = \frac{239.86}{193.40}$$

$$\frac{B}{C} = 1.24$$

La relación costo-beneficio fue de 1.24, con lo que concluye que el proyecto es viable.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Una vez finalizado el trabajo de investigación se determinaron las siguientes conclusiones.

- Los valores adquiridos por el prototipo tanto de voltaje como de corriente fueron comparados con un multímetro digital Hytais modelo TS-201, en el voltaje se tiene una diferencia promedio de 0.07[V] con un error de $\pm 0.06\%$ en un rango de 110 a 125 [V], y en la corriente se obtuvo una diferencia de 0.05[A] con un error de $\pm 1.93\%$ en un rango de 0 a 100 [A], la potencia activa fue calculada a partir de los valores de voltaje y corriente, donde tuvo un error absoluto promedio de 6.17 y un error relativo de $\pm 1.94\%$, con lo cual se verificó que las mediciones de voltaje y corriente y posterior cálculo de potencia sean lo más precisas y con el menor error posible.
- El voltaje de la red monofásica para viviendas en el Ecuador, se suele asumir como un valor fijo de 120V, sin embargo, por lo observado durante el funcionamiento del sistema, se demostró que el voltaje puede variar desde 110V hasta 120V, con los valores registrados en la Tabla 19 donde se tiene un voltaje promedio de 113.98V, la razón de estas variaciones son ajenas al prototipo, y sus causas pueden ser debido a instalaciones eléctricas deficientes, artefactos defectuosos, desgaste en contactos etc.
- Según los fabricantes de LoRa, en zonas urbanas tiene un alcance máximo de 5km, sin embargo, luego de las pruebas realizadas se determinó que en la práctica en una zona urbana densamente poblada y con un terreno muy irregular se tiene un alcance efectivo de 600m con pérdidas de 171.64dB calculado con el método de propagación Okumura-Hata teniendo en cuenta la frecuencia de operación LoRa de 915Mhz, el método Okumura-Hata es usualmente utilizado para cálculo de

perdidas en zonas urbanas y en un rango de frecuencias de 150Mhz hasta 1920Mhz a una distancia de hasta 100Km.

- Cuando existió algún inconveniente en las viviendas donde se instaló los nodos finales del sistema, ya sea por un elevado consumo o por algún fallo en el suministro de energía eléctrica, se recibió oportunamente un mensaje de alerta a través del bot programado para esta tarea en la plataforma de mensajería Telegram demostrando ser una herramienta muy útil para integrarla en cualquier proyecto IoT.
- El sistema fue puesto a prueba durante un periodo de un mes que empezó el 30 de marzo y finalizo el 1 de mayo, donde se comparó el valor de consumo de energía eléctrica en kWh entre el prototipo y los medidores de energía de la empresa, obteniendo los siguientes resultados: en la vivienda donde se instaló el nodo final 1 este registró un consumo de 179kWh mientras que el medidor de esa vivienda registró 181kWh teniendo un error relativo de $\pm 1.1\%$, en la vivienda donde se instaló el nodo final 2 se registró un consumo de 230kWh y en el medidor 231kWh teniendo un error relativo de $\pm 0.43\%$ esto se muestra en la Tabla 25, con lo que se verificó la lectura correcta de consumo de energía eléctrica.

4.2 Recomendaciones

En base a las experiencias adquiridas durante el desarrollo del proyecto se han definido las siguientes recomendaciones

- En la medición de voltaje con el sensor ZMPT101B, se recomienda que cada vez que se inicializa el circuito se debe constatar el valor de voltaje medido con un multímetro debido a que a pueda ser necesario volver a calibrar el sensor, la lectura puede variar en ± 1 [V], el ajuste se lo realiza en el potenciómetro lineal que viene integrado en el sensor.
- Se sugiere tener en cuenta que el gateway en la arquitectura de redes LPWAN es una parte esencial debido a que centraliza los datos recibidos por los nodos finales y los envía al servidor, esto sin embargo representa un punto débil dentro del

sistema ya que, si por cualquier razón este deja de funcionar, los nodos finales quedaran incomunicados con el servidor, por lo que para la instalación de este dispositivo se deben tomar las debidas precauciones, en la conexión a internet o en el suministro de energía.

- Se recomienda tener cuidado con los módulos Heltec LoRa Wifi 32 ya que estos siempre deben tener bien conectada su antena para comunicación LoRa, ya que en caso contrario puede provocar que el chip dedicado para la modulación LoRa se dañe permanentemente.
- El Servidor en este proyecto se lo implementó en una Raspberry pi, se recomienda que esta tarjeta sea ubicada en un lugar seco y fresco, si es posible con una adecuada ventilación, también es necesario realizar un reinicio al sistema cada cierto tiempo, esto último es informado a través de un mensaje en la línea de comandos cuando se accede al sistema por medio del protocolo de administración remota SSH (Secure Shell).
- Se recomienda realizar futuros proyectos integrados con sistemas LoRa, como por ejemplo la medición inteligente de consumo de agua, soluciones en agricultura, monitoreo de ganado, estacionamientos inteligentes, geolocalización sin GPS, etc., con los dispositivos LoRa que recientemente se han lanzado al mercado que operan a la frecuencia de 2.4Ghz con la finalidad de tener una interoperabilidad mundial evitando así tener que adquirir dispositivos que trabajen a determinada frecuencia dependiendo la región.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] A. Meffe, M. Prieto, F. Romero, A. Gracez, A. Jesus, y J. J. Teodoro, “A LOW-COST LORAWAN WIRELESS IoT SOLUTION FOR REMOTE MANAGEMENT AND ANALYSIS OF CONSUMERS’ MEASUREMENT DATA”. CIRED, Madrid, pp. 1–5, 2019.
- [2] F. Helder, P. Cardieri, P. S. Dester, y E. M. . Stancanelli, “Feasibility of Alarm Events upon Smart Metering in LoRa Networks”. ResearchGate, Campinas, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ISWCS.2019.8877346.
- [3] A. Yusri y M. Imam Nashiruddin, “LoRaWAN Internet of Things Network Planning for Smart Metering Services in Dense Urban Scenario”. Research Gate, Yogyakarta, p. 7, 2020, doi: 10.1109/ICoICT49345.2020.9166455.
- [4] A. Marahatta, Y. Rajbhandari, A. Shreshta, A. Singh, A. Thapa, y S. Shin, “LoRa Mesh Network for Smart Metering in Rural Electrification”. SMA, Jeju, pp. 1–6, 2020.
- [5] J. C. Morales Sánchez, “EQUIPO DE TELEMEDICIÓN ELÉCTRICA PARA CLIENTES RESIDENCIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA”, Universidad Tecnica de Ambato, 2018.
- [6] L. F. Carrasco Chipantiza, “SISTEMA DE MONITOREO Y TELEGESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN CARGAS RESIDENCIALES BASADO EN UNA ARQUITECTURA IoT.”, Universidad Tecnica de Ambato, 2018.
- [7] M. Fernández Paguay y J. F. Uquillaz Anguisaca, “Análisis de Desempeño del Estándar LORAWAN para Soluciones de Smart Campus, Implementando un Sistema de Monitoreo IoT en la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE”, ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas), 2020.
- [8] A. T. Chiriboga Torrez, “Diseño e Implementación De Una Solución Con Tecnología Lora Para El Monitoreo De Ubicación Vehicular Con Un Aplicativo Web”, ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas), 2020.

- [9] J. Laveyne, G. Van Eetvelde, y L. Vandeveldde, “APPLICATION OF LORAWAN FOR SMART METERING: AN EXPERIMENTAL VERIFICATION”. International Conference & Workshop REMOO-2017, Venecia, p. 2, 2017.
- [10] Republica del Ecuador - Asamblea Nacional, “LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, Quito, 2015. [En línea]. Disponible en: www.registroficial.gob.ec.
- [11] L. Moreno, “Decreto Ejecutivo N° 1036”, Quito, 2020.
- [12] CNEL-EP, “CNEL-EP Quienes Somos ?” 2020, Consultado: dic. 22, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.cnelep.gob.ec/quienes-somos/>.
- [13] ARCONEL, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2019”. Quito - Ecuador, p. 149, 2020, [En línea]. Disponible en: https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/Est_2019_Borrador_08-06-2020_1606.pdf.
- [14] ARCONEL, “PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Periodo: Enero - Diciembre 2020”. Quito - Ecuador, p. 35, 2019.
- [15] Xunta de Galicia, “INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA.”, *Tema 6. INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN VIVIENDAS (ALUMNOS)*. p. 16, 2018, Consultado: dic. 28, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/system/files/inst_eléctricas_viviendas.pdf.
- [16] FARADAYOS, “No Title”, *Tipos de cables eléctricos según su aplicación*, 2013. <https://www.faradayos.info/2013/12/tipos-de-cables-electricos.html>.
- [17] Red Eléctrica de España, “¿Qué son las Smartgrid?” 2020, Consultado: dic. 29, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/red21/redes-inteligentes/que-son-las-smartgrid>.

- [18] F. Endesa, “Smart Grids”. España, 2019, Consultado: dic. 29, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-smart-grid>.
- [19] Grupo Novelec, “¿Cómo funciona una Smart Grid?”, 2017. <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/como-funciona-smart-grid/> (consultado ago. 08, 2021).
- [20] U.S. Department of Energy, “Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems”. Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, USA, 2016.
- [21] M. Seijo Simó, G. López López, y J. I. Moreno, “RETO DE LA CIBERSEGURIDAD EN INFRAESTRUCTURAS DE MEDICION AVANZADA”. Research Gate, Madrid, 2017.
- [22] A. Juan, “Design and performance evaluation of a communication network for smart metering in Network Simulator–2”. ResearchGate, 2015, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281465740_Spanish_Design_and_performance_evaluation_of_a_communication_network_for_smart_metering_in_Network_Simulator-2.
- [23] Condesa.S.A, “Generalidades 7.4 Medidores de energia electrica”. 2016, Consultado: ene. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: https://likinormas.micodensa.com/Norma/acometidas_medidores/medidores_energia_electrica/generalidades_7_4_medidores_energia_electrica.
- [24] Structuralia, “El papel de los Smart Meters o contadores inteligentes en el ahorro energético”. Consultado: ene. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://blog.structuralia.com/el-papel-de-los-smart-meters-o-contadores-inteligentes-en-el-ahorro-energetico>.
- [25] A. Alsina, “SMART GRID: REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES Y SOSTENIBILIDAD”. Oasys, 2019, Consultado: ene. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://oasys-sw.com/smart-grid-redes-electricas-inteligentes/>.
- [26] e.nova Energia, “LAS VENTAJAS Y LOS INCONVENIENTES DE LOS

- CONTADORES INTELIGENTES”. e.nova Energia, 2017, Consultado: ene. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.enova-energia.com/noticias/las-ventajas-y-los-inconvenientes-de-los-contadores-inteligentes>.
- [27] W. Hayt, J. Kemmerly, y S. Durbin, “Análisis de Potencia en Circuitos de CA”, en *Análisis de Circuitos en Ingeniería*, 7ma ed., Mexico D.F: McGraw-Hill, 2007, pp. 420–440.
- [28] Selectra, “Cuál es la diferencia entre kW y kWh”. Madrid, 2020, Consultado: ene. 05, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://tarifasgasluz.com/faq/diferencia-kw-kwh>.
- [29] F. Campos, “LPWAN: qué son y para qué se utilizan”. Industrial M2M by Logitek, 2020, Consultado: ene. 05, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.m2mlogitek.com/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/#:~:text=Las redes LPWAN \(Low Power,un muy bajo consumo energético](https://www.m2mlogitek.com/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/#:~:text=Las redes LPWAN (Low Power,un muy bajo consumo energético).
- [30] Paessler, “¿Qué es LPWA?” Paessler, 2020, Consultado: ene. 05, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.es.paessler.com/it-explained/lpwa>.
- [31] W. A. Porras Calderon y O. Y. Salah Garcia, “Implementación de una Red LPWAN de Sensores para el Monitoreo de Condiciones Ambientales”, *MET&FLU*, Santander, Colombia, pp. 1–20, 2019.
- [32] Semtech, “LoRa and LoRaWAN”, *Semtech Tech. Pap.*, núm. December 2019, pp. 1–17, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>.
- [33] ARCOTEL, “NORMA TÉCNICA DE ESPECTRO DE USO LIBRE Y DE ESPECTRO PARA USO DETERMINADO EN BANDAS LIBRES”. Quito - Ecuador, pp. 1–26, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/NORMA-ESPECTRO-DE-USO-LIBRE-Y-ESPECTRO-PARA-USO-DETERMINADO-EN-BANDAS-LIBRES.pdf>.

- [34] LoRa Alliance, “LoRaWAN Regional Parameters”. LoRa Alliance, Inc., pp. 1–88, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://lora-alliance.org/resource-hub/rp2-102-lorawan-regional-parameters>.
- [35] Arduino.cc, “What is Arduino?” 2018, Consultado: mar. 30, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [36] E. Rodriguez, “De cero a maker: todo lo necesario para empezar con Raspberry Pi”. 2018, Consultado: mar. 30, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/makers/cero-maker-todo-necesario-para-empezar-raspberry-pi>.
- [37] A. Rodriguez, “¿Qué es Ubuntu y para qué sirve?” 2020, Consultado: mar. 30, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://es.godaddy.com/blog/que-es-ubuntu-y-para-que-sirve/>.
- [38] OpenJS Foundation, “Node-Red”. 2021, Consultado: mar. 30, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://nodered.org/>.
- [39] A. Roman, “Arduino Mega 2560”. p. 1, 2020, Consultado: mar. 29, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>.
- [40] J. Damian y electrogeekshop, “Arduino Nano Pinout y características”. San Miguel de Tucuman, p. 1, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.electrogeekshop.com/arduino-nano-pinout-y-caracteristicas/>.
- [41] Naylamp Mechatronics SAC, “NODEMCU V2 ESP8266 WIFI”. 2021, Consultado: mar. 29, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>.
- [42] AV Electronics, “Sensor de Voltaje AC ZMPT101B”. Quito - Ecuador, 2021, Consultado: mar. 29, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-voltaje-zmpt101b/>.
- [43] Altronics, “Sensor de Voltaje para Arduino FZ0430”. 2021, Consultado: mar. 29, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://altronics.cl/sensor-voltaje-fz0430>.

- [44] M. Taştan, “Internet of Things based Smart Energy Management for Smart Home”, *researchgate*. p. 4, 2019.
- [45] MaxElectronica, “Sensor de Corriente Alterna No Invasivo Modelo TA12-100 5A”. 2020, Consultado: mar. 29, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://maxelectronica.cl/corriente/239-sensor-de-corriente-alterna-no-invasivo-modelo-ta12-100-5a.html>.
- [46] AV Electronics, “Sensores de Voltaje y corriente”, *Sensor Corriente SCT013-000 100A/50mA*, 2021. <https://avelectronics.cc/producto/sensor-corriente-sct013-000-100a-50ma/> (consultado mar. 29, 2021).
- [47] L. del Valle Hernández, “ADS1115 convertidor analógico digital ADC para Arduino y ESP8266”, 2020. <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ads1115-convertidor-analogico-digital-adc-arduino-esp8266/> (consultado mar. 29, 2021).
- [48] S. A. Castaño Giraldo, “LCD Arduino”. 2020, Consultado: mar. 29, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/lcd/>.
- [49] Heltec Automation, “WiFi LoRa 32 (V2)”. 2020, Consultado: mar. 29, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>.
- [50] J. Pastor, “Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando”. Xataka, 2018, Consultado: abr. 06, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>.
- [51] UIT, “Manual Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/decimétricas”. UIT Oficina de Radiocomunicaciones, Ginebra, pp. 26–27, 2002, [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-44-2002-OAS-PDF-S.pdf.
- [52] SERCOP, “LECTURA DE MEDIDORES DEL SERVICIO DE ELECTRICIDAD 4 ZONAS TIPO I (URBANA, RURAL, RURAL ALEJADA, RURAL FLUVIAL)”. SERCOP, Quito - Ecuador, 2017, [En línea].

Disponible en: https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/wp-content/uploads/2017/05/7_lectura_de_medidores_del_servicio_de_electricidad_4_zonas_tipo-I.pdf.

- [53] V. Velayos Morales, “Valor actual neto (VAN)”. Economipedia, 2017, Consultado: may 17, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>.

ANEXOS

Anexo A

Programación de Arduino nano, para adquisición se voltaje y corriente, cálculo de potencia y kWh.

```
#include <EEPROM.h>

#include <LiquidCrystal.h>

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_ADS1015.h>

#include "EmonLib.h"

#define ok 11

#define mc 12

LiquidCrystal lcd( 4,5,6,7,8,9);

EnergyMonitor emon1;

Adafruit_ADS1115 ads;

/// variables para corriente

const float FACTOR = 100; //100A/50mA

const float multiplier = 0.0625F;

float kwh = 0;

float e = 0;

float ekwh=0;

int cont=0;

void setup()

{

pinMode(ok,OUTPUT);
```

```

pinMode(mc,OUTPUT);

lcd.begin(16, 2);  //

lcd.setCursor(5, 0);  //

lcd.print("MEDIDOR");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("B Sandoya");

Serial.begin(115200);

emon1.voltage(0, 120, 1.7);

ads.setGain(GAIN_TWO);    // ±2.048V 1 bit = 0.0625mV

ads.begin();

EEPROM.get(0, ekwh);

if(ekwh!=0.00){

e = ekwh*3600;

}

delay(1000);

lcd.clear();

}

void loop(){

emon1.calcVI(20, 2000);

float currentRMS = getCorriente();

float voltRMS = emon1.Vrms;

float power = voltRMS * currentRMS;

if(power >= 800){

```

```

digitalWrite(mc, HIGH);

}else{

digitalWrite(mc, LOW);

}

e = e + ((power*2)/1000);

kwh = e/3600; // transformacion a Kwh

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(voltRMS)+lcd.print(" V ");

lcd.print(currentRMS)+lcd.print(" A")+lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(power)+lcd.print(" W ");

lcd.print(kwh)+lcd.print(" kWh")+lcd.print(" ");

delay(1000);

// voltaje, corriente, potencia, kwh

envio(voltRMS,currentRMS,power,kwh);

cont++;

if(cont == 1000){

EEPROM.put(0, kwh);

cont = 0;

} }

void envio(float dato1, float dato2, float dato3, float dato4)

{

```



```

Serial.print(dato1);Serial.print(",");Serial.print(dato2);Serial.print(",");Serial.print(da
to3);Serial.print(",");Serial.println(dato4);

delay(5);

}

float getCorriente(){

float voltage;

float corriente;

float sum = 0;

long tiempo = millis();

int counter = 0;

while (millis() - tiempo < 1000)

{

voltage = ads.readADC_Differential_0_1() * multiplier;

corriente = voltage * FACTOR;

corriente /= 1000.0;

sum += sq(corriente);

counter = counter + 1;

}

corriente = sqrt(sum / counter);

return(corriente);

}

```

Anexo B

Programación de los módulos Heltec Wifi LoRa 32, para los nodo finales

```
#include <Wire.h>

#include "heltec.h"

#define BAND 915E6

unsigned int counter = 0;

String rssi = "RSSI --";

String packSize = "--";

String packet ;

// Mensaje a enviar por direcciones

byte dir_local = 0xD1; // 0xD2 en el caso de nodo 2

byte dir_destino = 0xC1; // Concentrador 1

String str = "";

String cad = "";

const char separator = ',';

const int dataLength = 4;

String data[dataLength];

void setup() {

Serial.begin(115200);

Heltec.begin(true, true, true, true, BAND);

}

void loop() {

if(Serial.available()) {
```

```

str = Serial.readStringUntil('\n');

for (int i = 0; i < dataLength ; i++)

{

int index = str.indexOf(separator);

data[i] = str.substring(0, index);

str = str.substring(index + 1);

}

cad=data[0]+"/"+data[1]+"/"+data[2]+"/"+data[3]+"/"+'\n';

Heltec.display->clear();

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

Heltec.display->drawString(30, 0, "Irithyll Meter");

Heltec.display->drawString(0,20,"Voltaje: "+data[0]+" [V]");

Heltec.display->drawString(0,30,"Corriente: "+data[1]+" [A]");

Heltec.display->drawString(0,40,"Potencia: "+data[2]+" [W]");

Heltec.display->drawString(0,50,"Consumo: "+data[3]+" [KWh]");

Heltec.display->display();

enviarloro(dir_destino,dir_local,cad);

delay(1000+random(100,1000));

}}

void enviarloro(byte destino, byte remite, String paquete){

while(LoRa.beginPacket() == 0){

yield();

delay(100);

```

```
}  
  
LoRa.beginPacket();  
  
LoRa.setTxPower(14,RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);  
  
LoRa.write(destino);  
  
LoRa.write(remite);  
  
LoRa.write(paquete.length());  
  
LoRa.print(paquete);  
  
LoRa.endPacket();  
  
digitalWrite(LED, HIGH); delay(50);  
  
digitalWrite(LED, LOW); delay(50);  
  
digitalWrite(LED, HIGH); delay(50);  
  
digitalWrite(LED, LOW);  
  
}
```

Anexo C

Programación del gateway LoRa

```
#include "heltec.h"

#include <WiFi.h>

#include <PubSubClient.h>

#define BAND 915E6

int rssi_lora = 0;

int snr_lora = 0;

byte dir_local = 0xC1;

byte dir_envio = 0xC1;

int dir_remite = 0xD0;

String paqueteRcb = "";

byte paqrcbEstado = 0;

volatile boolean serial_msj = true;

// WIFI: conexión a Router

char* ssid = "Tvcable_SANDOYA-GARCIA";

char* password = "Bсандоуа***";

// MQTT: Servidor

char* MQTT_IP = "192.168.1.21";

uint16_t MQTT_puerto = 1883;

char* MQTT_ID = "LoraGatewayC1";

char MQTT_TOPIC_V[50] = "medidor/loraD0/voltaje";

char MQTT_TOPIC_C[50] = "medidor/loraD0/corriente";
```

```

char MQTT_TOPIC_P[50] = "medidor/loraD0/potencia";

char MQTT_TOPIC_K[50] = "medidor/loraD0/kwh";

char MQTT_TOPIC_T[50] = "medidor/loraD0/total";

char volt[10] = "00.00";

char corri[10] = "00.00";

char poten[10] = "00.00";

char kwh[10] = "00.00";

char total[50] = "00.00";

String pack="";

String dato[4];

// Clientes WiFi y MQTT

WiFiClient wificlient;

PubSubClient mqttclient(wificlient);

void setup(){

Heltec.begin(true,true,serial_msj,true,BAND);

Heltec.display->init();

Heltec.display->flipScreenVertically();

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

Heltec.display->drawString(0, 0, "CONECTANDO A WIFI & ");

Heltec.display->drawString(15, 15, "MQTT BROKER");

Heltec.display->display();

delay(100);

Heltec.display->clear();

```

```

LoRa.receive();

inicia_wifi();

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED){

inicia_mqtt();

}

Heltec.display->drawString(0, 25, "INICIALIZACION EXITOSA!");

Heltec.display->display();

delay(100);

Heltec.display->clear();

}

void loop(){

int msjRcbLoRa = LoRa.parsePacket();

if (msjRcbLoRa !=0){

recibirlora(msjRcbLoRa);

rssi_lora = LoRa.packetRssi();

snr_lora = LoRa.packetSnr();

digitalWrite(LED, HIGH); delay(50);

digitalWrite(LED, LOW); delay(50);

digitalWrite(LED, HIGH); delay(50);

digitalWrite(LED, LOW);

yield(); // procesa wifi

delay(100);

}

```

```
if (msjRcbLoRa !=0 && paqrcbEstado == 1){  
  
    pack=" ";  
  
    pack=paqueteRcb;  
  
    int index = pack.indexOf('/');  
  
    dato[0] = pack.substring(0, index);  
  
    pack =pack.substring(index +1);  
  
    delay(10);  
  
    index = pack.indexOf('/');  
  
    dato[1] = pack.substring(0, index);  
  
    pack =pack.substring(index +1);  
  
    delay(10);  
  
    index = pack.indexOf('/');  
  
    dato[2] = pack.substring(0, index);  
  
    pack =pack.substring(index +1);  
  
    delay(10);  
  
    index = pack.indexOf('/');  
  
    dato[3] = pack.substring(0, index);  
  
    String v = " ";  
  
    String c = " ";  
  
    String p = " ";  
  
    String k = " ";  
  
    String t = " ";  
  
    delay(20);  
}
```



```

}

c = dato[1];

p = dato[2];

k = dato[3];

t = v+", "+c+", "+p+", "+k;

String topico = "medidor/lora";

String remite = String(dir_remite, HEX);

remite.toUpperCase();

topico = topico + remite;

String topicov = topico + "/voltaje";

String topicoc = topico + "/corriente";

String topicop = topico + "/potencia";

String topicok = topico + "/kwh";

String topicot = topico + "/total";

topicov.toCharArray(MQTT_TOPIC_V,topicov.length()+1);

topicoc.toCharArray(MQTT_TOPIC_C,topicoc.length()+1);

topicop.toCharArray(MQTT_TOPIC_P,topicop.length()+1);

topicok.toCharArray(MQTT_TOPIC_K,topicok.length()+1);

topicot.toCharArray(MQTT_TOPIC_T,topicot.length()+1);

v.toCharArray(volt,v.length()+1);

c.toCharArray(corri,c.length()+1);

p.toCharArray(poten,p.length()+1);

k.toCharArray(kwh,k.length()+1);

```

```

t.toCharArray(total,t.length()+1);

Serial.println(topicov);

publica_estado();

}

delay(20);

if (WiFi.status() != WL_CONNECTED){

inicia_wifi();

}else{

if (mqttclient.connected()==false){

mqtt_desconectado = true;

inicia_mqtt(); // reintento

}

if (mqttclient.connected()==true){

if (mqtt_desconectado==true){

publica_estado();

mqtt_desconectado=false;

}

mqttclient.loop();

}}}

void recibirlora(int tamano){

paqueteRcb = "";

dir_envio = LoRa.read();

dir_remite = LoRa.read();

```

```

byte paqrcbTamano = LoRa.read();

while(LoRa.available()){

paqueteRcb += (char)LoRa.read();

}

if (paqrcbTamano != paqueteRcb.length()){

paqrcbEstado = 2;

return;

}

if (dir_envio != dir_local){

paqrcbEstado = 3;

return;

}

if (dir_envio == 0xFF) {

paqrcbEstado = 4;

return;

}

paqrcbEstado = 1;

LoRaData();

}

void inicia_mqtt(void){

int intentosmqtt = 5;

int cuentamqtt = 0;

if (serial_msj){

```

```

Serial.print(" MQTT Conectando a ");

Serial.println(MQTT_IP);

}

mqttclient.setServer(MQTT_IP, MQTT_puerto);

mqttclient.connect(MQTT_ID);

while (!mqttclient.connected() && (cuentamqtt<=intentosmqtt)){

if (serial_msj){

Serial.print(".");

}

cuentamqtt = cuentamqtt + 1;

digitalWrite(LED, HIGH); delay(200);

digitalWrite(LED, LOW); delay(200);

}

if (mqttclient.connected()){

publica_estado();

}

if (serial_msj){

Serial.println();

Serial.print(" MQTT Conectado: ");

Serial.print(mqttclient.connected());

Serial.print("\t MQTT Estado: ");

Serial.println(mqttclient.state());

}}

```

```

void publica_estado() {

if (mqttclient.connected()==true){

mqttclient.publish(MQTT_TOPIC_V,volt,true);

mqttclient.publish(MQTT_TOPIC_C,corri,true);

mqttclient.publish(MQTT_TOPIC_P,poten,true);

mqttclient.publish(MQTT_TOPIC_K,kwh,true);

mqttclient.publish(MQTT_TOPIC_T,total,true);

}else{

mqtt_desconectado = true;

}

}

void inicia_wifi(void) {

int intentoswifi = 10;

int cuentawifi = 0;

if (serial_msj){

Serial.print(" WiFi Conectando a ");

Serial.println(ssid);

}

WiFi.disconnect(true);

delay(1000);

WiFi.mode(WIFI_STA);

WiFi.setAutoConnect(true);

WiFi.begin(ssid,password);

```

```

delay(100);

while(WiFi.status() != WL_CONNECTED &&
cuentawifi < intentowifi){

if (serial_msj){

Serial.print(".");

}

cuentawifi = cuentawifi + 1;

digitalWrite(LED, HIGH);delay(300);

digitalWrite(LED, LOW);delay(200);

}

if (serial_msj){

Serial.println();

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED){

Serial.print(" Estado: ");

Serial.println(WiFi.status());

Serial.print(" MAC: ");

Serial.println(WiFi.macAddress());

Serial.print(" IP: ");

Serial.println(WiFi.localIP());

Serial.print(" RSSI: ");

Serial.println(WiFi.RSSI());

Serial.println();

}

}

```

```
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED){  
  WiFi.printDiag(Serial);  
  Serial.println();  
  }  
}  
  
void LoRaData(){  
  Heltec.display->clear();  
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);  
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);  
  Heltec.display->drawString(15 , 0 , "Gateway LoRa");  
  Heltec.display->drawString(0 , 15 , "Recibiendo Datos..");  
  Heltec.display->drawString(0 , 30 , "Dispositivo: " + String(dir_remite, HEX));  
  Heltec.display->drawString(0, 45, paqueteRcb);  
  Heltec.display->display();  
}
```

Anexo D

Arduino Nano

Es una plataforma de desarrollo basado en el microcontrolador ATmega328, ofrece las mismas funcionalidades que el resto de las placas Arduino, posee las siguientes características técnicas detalladas en la Tabla D1.

Tabla D1: Características técnicas de Arduino Nano

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega328p – 8bits
Arquitectura	AVR
Velocidad de reloj	16Mhz
Voltaje de operación	5Vdc
Voltaje de alimentación soportado	7-12Vdc
Pines de entrada analógica	8 (A0-A7)
Pines de E/S digitales	22 (6 son PWM)
Corriente por pines de E/S	40mA
Consumo de energía	19 mA
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Memoria Flash	32KB, de los cuales 2KB lo utiliza el Bootloader

Dimensiones físicas

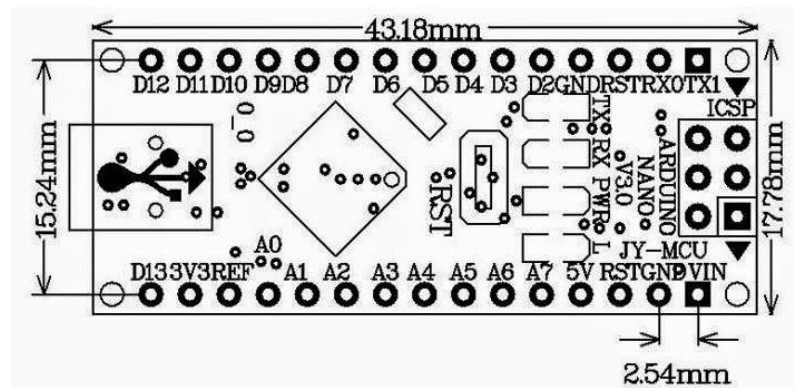


Figura D1: dimensiones físicas de Arduino Nano

Distribución de pines

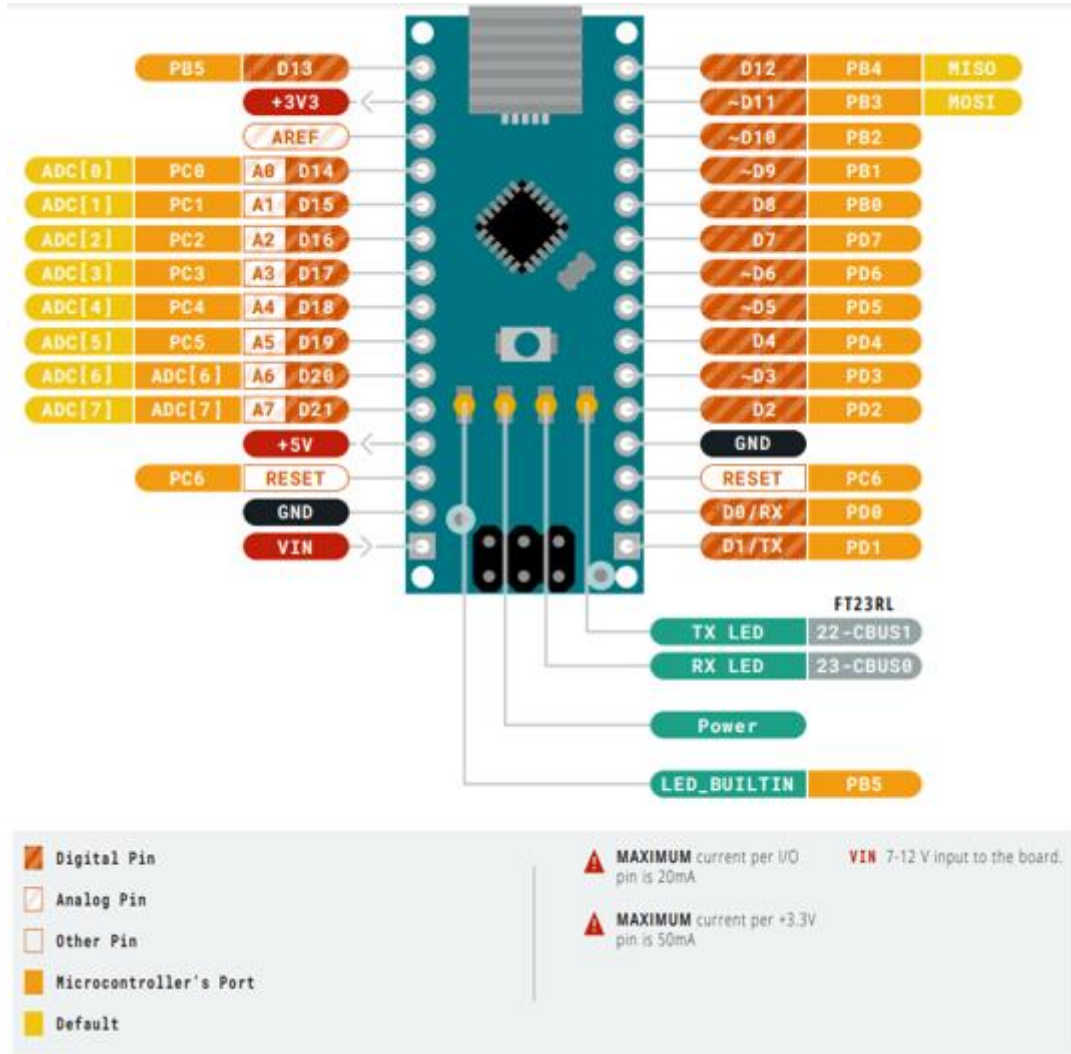


Figura D2: distribución de pines de Arduino Nano.

Anexo E

Datasheet ZMPT101B

ZMPT101B(ZMPT107) voltage transformer operating guide

1、Wiring diagram

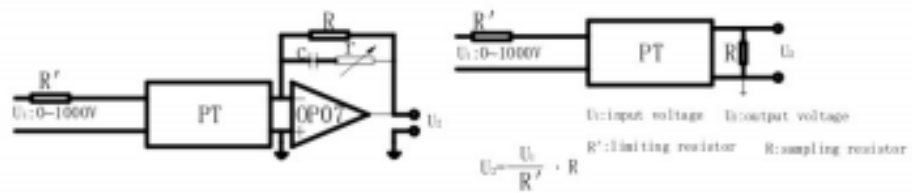


Figure I

Figure II

2、Determination of maximum output rms voltage

U_{max}:

U_{max} is decided by the AD peak voltage in the sampling loop in principle.

As for Bipolar AD, $U_{max} = \frac{\text{Peak voltage } e}{\sqrt{2}}$

As for unipolar AD, $U_{max} = \frac{\text{peak voltage}}{2\sqrt{2}}$



Anexo F
Datasheet SCT013-000

0.333V Split core current transformer



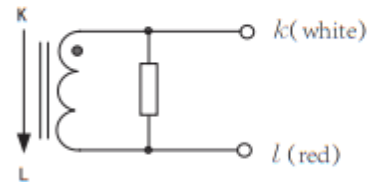
model: SCT013

Characteristics:
 Split core, 0.333V output, Built-in with sampling resistance,
 leading wire 1 metre, standard $\Phi 3.5$ three core plug output,
 (Patent no.: ZL 2015 3 0060067.X)



Technical index:
 Suspended mounting, output with cable
 Operation temperature: $-25\text{C} \sim +70\text{C}$
 Storage temperature: $-30\text{C} \sim +90\text{C}$
 work voltage: $\leq 660\text{V}$
 Work frequency: 50Hz-1KHz
 Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

Wiring schematic:



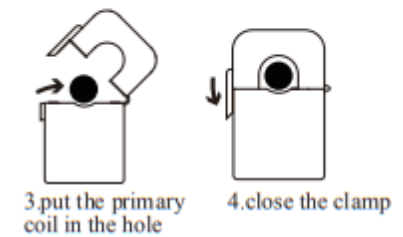
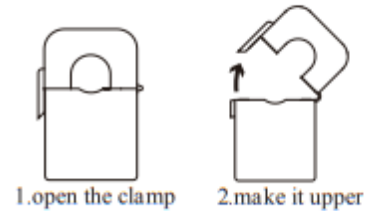
Technical Parameters table:

Rated Input(Effective value)	10 20 30 50 80 100 A	
measurement range	20%~120%	A
Rated output	0.333	V
Accuracy	1	%
Linearity	1	%
frequency	50~1K	Hz
weight	50	g
Order Format:	model Input output Accuracy	
	SCT013/xxA/0.333V/1%	
Noted:	The rated current $\leq 100\text{A}$ are the standard product	

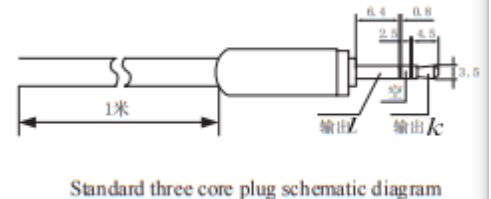
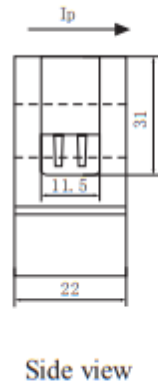
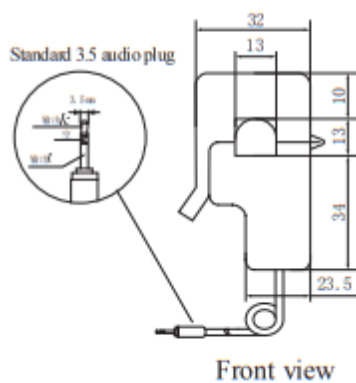
Voltage output type : Built-in with sampling resistance
 Voltage output type : not allowed secondary short circuit.
 When the plug without audio frequency,
 the white line is the end of the same name

Installation Diagram

Primary coil through hole method



Outline size: (in:mm):



Anexo G

Datasheet del ADS1115



ADS1113
ADS1114
ADS1115

www.ti.com

SBAS444A –MAY 2009–REVISED AUGUST 2009

Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference

Check for Samples: [ADS1113](#) [ADS1114](#) [ADS1115](#)

FEATURES

- **ULTRA-SMALL QFN PACKAGE:**
2mm × 1,5mm × 0,4mm
- **WIDE SUPPLY RANGE: 2.0V to 5.5V**
- **LOW CURRENT CONSUMPTION:**
Continuous Mode: Only 150µA
Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
- **PROGRAMMABLE DATA RATE:**
8SPS to 860SPS
- **INTERNAL LOW-DRIFT VOLTAGE REFERENCE**
- **INTERNAL OSCILLATOR**
- **INTERNAL PGA**
- **I²C™ INTERFACE: Pin-Selectable Addresses**
- **FOUR SINGLE-ENDED OR TWO DIFFERENTIAL INPUTS (ADS1115)**
- **PROGRAMMABLE COMPARATOR (ADS1114 and ADS1115)**
- **OPERATING TEMPERATURE: –40°C to +140°C**

APPLICATIONS

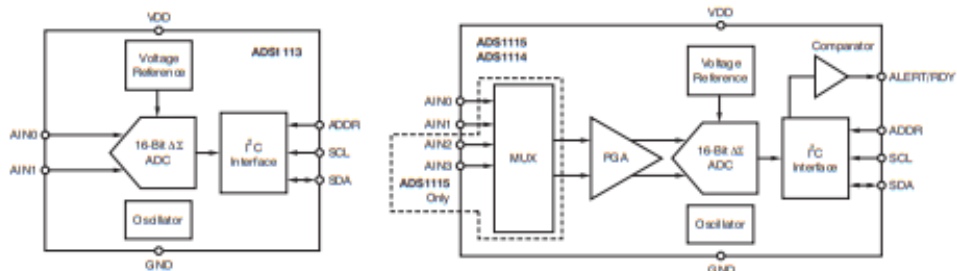
- PORTABLE INSTRUMENTATION
- CONSUMER GOODS
- BATTERY MONITORING
- TEMPERATURE MEASUREMENT
- FACTORY AUTOMATION AND PROCESS CONTROLS

DESCRIPTION

The ADS1113, ADS1114, and ADS1115 are precision analog-to-digital converters (ADCs) with 16 bits of resolution offered in an ultra-small, leadless QFN-10 package or an MSOP-10 package. The ADS1113/4/5 are designed with precision, power, and ease of implementation in mind. The ADS1113/4/5 feature an onboard reference and oscillator. Data are transferred via an I²C-compatible serial interface; four I²C slave addresses can be selected. The ADS1113/4/5 operate from a single power supply ranging from 2.0V to 5.5V.

The ADS1113/4/5 can perform conversions at rates up to 860 samples per second (SPS). An onboard PGA is available on the ADS1114 and ADS1115 that offers input ranges from the supply to as low as ±256mV, allowing both large and small signals to be measured with high resolution. The ADS1115 also features an input multiplexer (MUX) that provides two differential or four single-ended inputs.

The ADS1113/4/5 operate either in continuous conversion mode or a single-shot mode that automatically powers down after a conversion and greatly reduces current consumption during idle periods. The ADS1113/4/5 are specified from –40°C to +125°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

I²C is a trademark of NXP Semiconductors.

All other trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated

Anexo H

Datasheet Heltec Wifi LoRa 32

Technical Parameters

Resource	Parameter		
Master Chip	ESP32(240MHz Tensilica LX6 dual-core + 1 ULP, 600 DMIPS)		
Wireless Communication	Wi-Fi	Bluetooth	LoRa
	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)	Bluetooth V4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification	Node-to-node communication or LoRaWAN
LoRa Chip	SX1276/SX1278		
LoRaWAN Area	hardware version	Support frequency	
	LF	EU433	
		CN470	
	HF	IN865	
		EU868	
		US915	
		AU915	
KR920			
AS923			
LoRa Maximum Output Power	19dB ± 1dB		
Hardware Resource	UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; I2S x 1; 12-bits ADC input x 18; 8-bits DAC output x 2; GPIO x 22, GPI x 6		
FLASH	8MB(64M-bits) SPI FLASH		
RAM	520KB internal SRAM		
Interface	Micro USB x 1; LoRa Antenna interface(IPEX) x 1; 18 x 2.54 pin x 2		
Maximum Size (Including protruding parts such as switch and battery compartment)	51 x 25.5 x 10.6 mm		
USB to Serial Chip	CP2102		
Battery	3.7V Lithium (SH1.25 x 2 socket)		
Solar Energy	x		
Battery Detection Circuit	√		
External Device Power Control (Vext)	√		
Low Power	Deep Sleep 800μA		
Display Size	0.96-inch OLED		
Working Temperature	-40~80°C		

Electrical characteristics

Electrical Features	Condition	Minimum	Typica	Maximum
Power Supply	USB powered (≥500mA)	4.7V	5V	6V
	Lithium powered (≥250mA)	3.3V	3.7V	4.2V
	3.3V (pin) powered (≥150mA)	2.7V	3.3V	3.5V
	5V (pin) powered (≥500mA)	4.7V	5V	6V
Power Consumption(mA)	WIFI Scan		115mA	
	WIFI AP		135mA	
	LoRa 10dB output		50mA	
	LoRa 12dB output		60mA	
	LoRa 15dB output		110mA	
Output	LoRa 20dB output		130mA	
	3.3V pin output			500mA
	5V pin output (USB powered only)		Equal to the input current	
	External device power control (Vext 3.3V)			350mA

WiFi LoRa 32(V2) Pinout Diagram

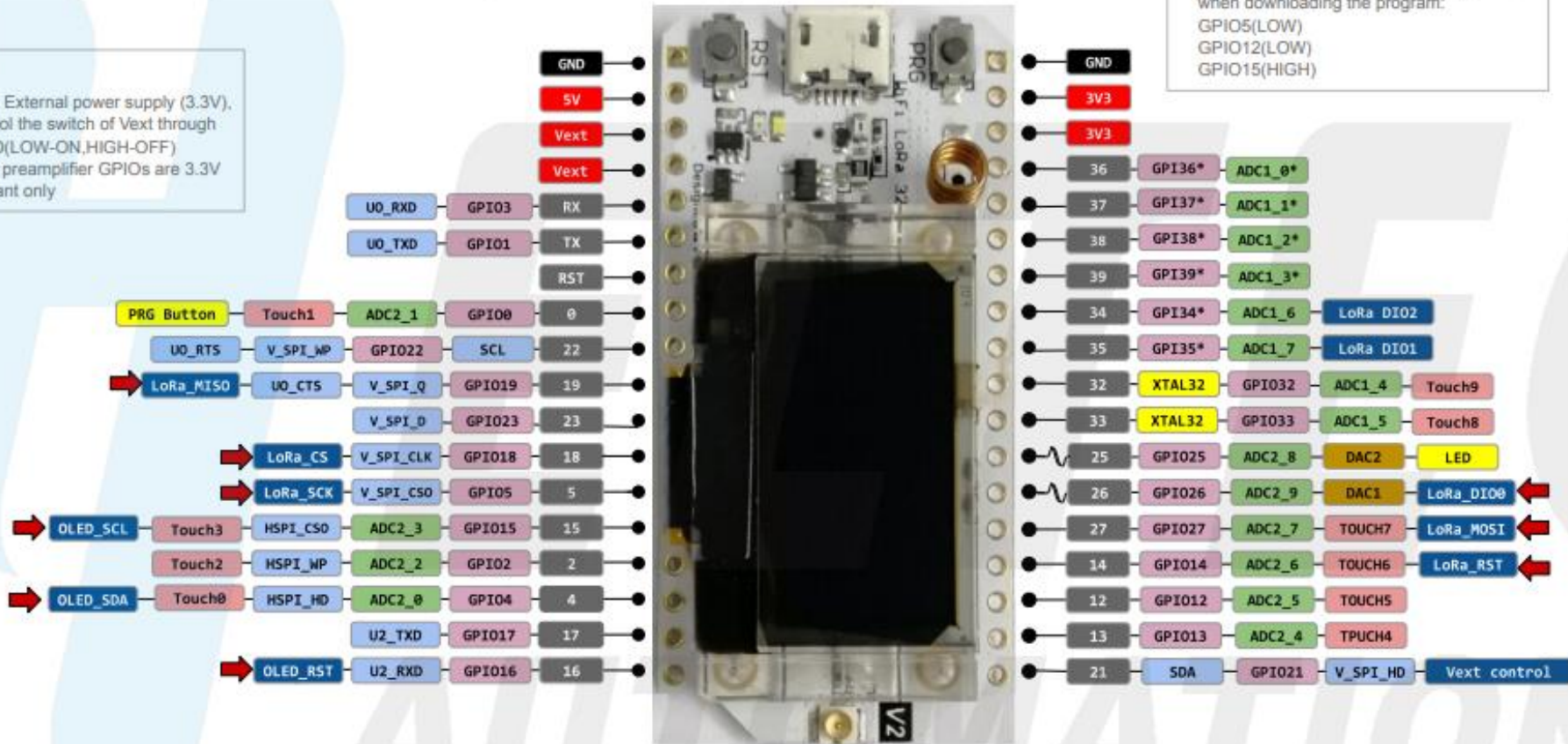
Notes:

- Vext: External power supply (3.3V), control the switch of Vext1 through GPIO(LOW-ON,HIGH-OFF)
- ADC preamplifier GPIOs are 3.3V tolerant only

Tips:

- These pins must be in the following states when downloading the program:
GPIO5(LOW)
GPIO12(LOW)
GPIO15(HIGH)

	GND
	Power
	Control
	Touch Pin
	GPIO Port pin
	Analog Pin
	DAC
	Serial SPI I2C
	Physical Pin
	On-board hardware Pin



➔ Pins with this arrow are used by on-board OLED or LoRa, they must not be used for other purpose unless you know what you are doing!