



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR PORTÁTIL DE
PARÁMETROS ELÉCTRICOS BASADO EN MEDIDORES
INTELIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA DEMANDA
ENERGÉTICA EN USUARIOS DE BAJA TENSIÓN**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO.

AUTORES:

Oscar Javier Ninasunta Proaño
Melanie Johanna Toapanta Manzano

TUTOR:

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi

LATACUNGA, JULIO 2025

LATACUNGA-ECUADOR

JULIO, 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Oscar Javier Ninasunta Proaño con cédula de ciudadanía No. 0503329286, Melanie Johanna Toapanta Manzano con cédula de ciudadanía No. 1850566314 declaramos ser autores del presente PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR PORTÁTIL DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS BASADO EN MEDIDORES INTELIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN USUARIOS DE BAJA TENSION”**, siendo el Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

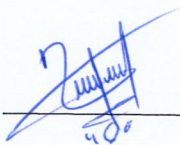
Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, Julio 28 del 2025



Oscar Javier Ninasunta Proaño

C.C 0503329286



Melanie Johanna Toapanta Manzano

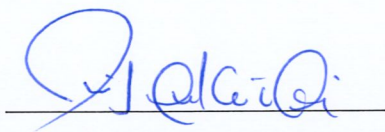
C.C 1850566314

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de tutor de trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR PORTÁTIL DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS BASADO EN MEDIDORES INTELIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN USUARIOS DE BAJA TENSIÓN”, de Oscar Javier Ninasunta Proaño y Melanie Johanna Toapanta Manzano, de la carrera de Electromecánica considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, Julio 28 del 2025



Ing. Luis Rolando Cruz Panchi

C.C: 0502595176

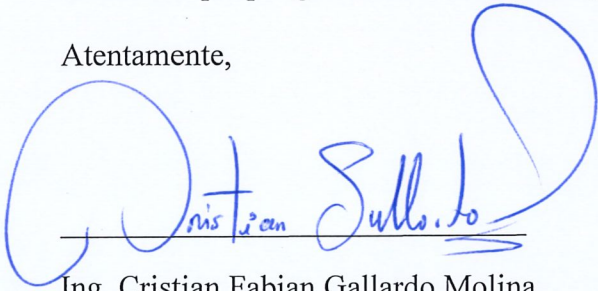
Latacunga, Agosto 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR PORTÁTIL DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS BASADO EN MEDIDORES INTELIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN USUARIOS DE BAJA TENSIÓN”, propuesto por los estudiantes Ninasunta Proaño Oscar Javier y Toapanta Manzano Melanie Johanna de la Carrera Ingeniería Electromecánica, nos permitimos indicar que los estudiantes ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta , por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Propuesta tecnológica en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

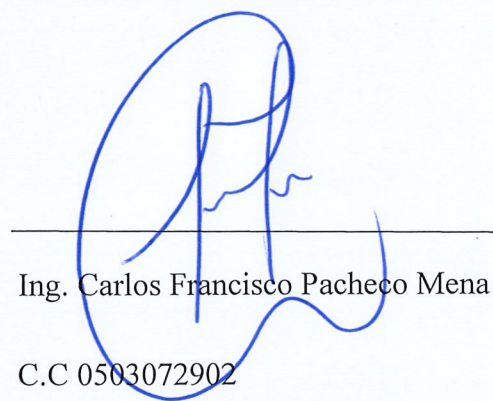
Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



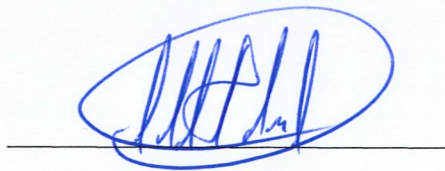
Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina

C.C 0502847692



Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

C.C 0503072902



Ing. Efrén Damian Albán Andrade

C.C 0502529514

AVAL DE TRADUCCIÓN

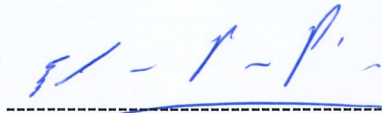
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés de la propuesta tecnológica cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR PORTÁTIL DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS BASADO EN MEDIDORES INTELIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN USUARIOS DE BAJA TENSIÓN”** presentado por: **Ninasunta Proaño Oscar Javier y Toapanta Manzano Melanie Johanna**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2025

Atentamente,



Lic. MSc. PACHECO PRUNA EDISON MARCELO
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502617350



CENTRO
DE IDIOMAS

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primero a Dios por darnos la vida y la salud para poder alcanzar más logros en esta vida, también agradecemos a esta noble universidad por permitirnos superarnos y guiarnos en todo este camino académico, por brindarnos valores como el respeto, disciplina, honestidad y ante todo la responsabilidad para conseguir nuestros objetivos. Agradecemos a todos nuestros ingenieros por compartirnos sus conocimientos y por su dedicación que obtuvieron hacia nosotros los cuales vamos a llevarlos en nuestros corazones.

Gracias.

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este logro a Dios quien me ha guiado en este largo camino, dedico a mi padre y a mi madre quienes, a pesar de no estar juntos, me han dado la oportunidad de tener buenos estudios y por creer en mis capacidades por permitirme vivir y disfrutar cada día.

Con todo mi amor

Oscar Ninasunta

DEDICATORIA

A mi dios por nunca dejarme sola, a mis padres que son el pilar fundamental para seguir alcanzando más logros cuya entrega, sacrificio y amor incondicional me han guiado en cada paso. Gracias por enseñarme con el ejemplo y por creer en mi incluso cuando yo dudaba.

A mis hermanas, compañeras de vida, de risas y también desafíos. Su cariño, apoyo y complicidad han sido refugio en los días difíciles y alegría en los buenos.

Todo lo que soy y todo lo que he logrado, es gracias a ustedes.

Siendo este trabajo también de ustedes.

KAZAN, ZEUS

Con todo mi amor

Melanie Toapanta

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR PORTÁTIL DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS BASADO EN MEDIDORES INTELIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN USUARIOS DE BAJA TENSIÓN.

Autores: Oscar Javier Ninasunta Proaño

Melanie Johanna Toapanta Manzano

RESUMEN

Este proyecto se enfocó en la implementación de un registrador portátil para monitorear parámetros eléctricos en usuarios de baja tensión. Para ello, se clasificaron los usuarios en residenciales, comerciales y pequeños industriales, reconociendo sus distintos patrones de consumo de cada usuario, las especificaciones técnicas del registrador se definieron basándose en las necesidades reales de estos usuarios, incluyendo la capacidad de medir voltaje, corriente, potencia, demanda y frecuencia, además de considerar criterios de portabilidad, almacenamiento de datos y facilidad de instalación. El medidor consta de dos equipos interconectados inalámbricamente a través de un módulo Zigbee y programación en Python, uno de los equipos, el registrador, se conecta al tablero de distribución eléctrica del usuario de baja tensión, utilizando conductores para el voltaje y TCs de 200 A, adecuados para un usuario industrial con capacidad máxima de 75 kVA, el otro equipo, de recepción, se enlaza al router más cercano del usuario para almacenar los datos en la nube Thingsboard. La instalación del medidor se llevó a cabo en usuarios residenciales y comerciales, los datos obtenidos fueron analizados y graficados mediante software estadístico. Adicionalmente, se realizó una validación de la información utilizando un analizador de redes Fluke 1777 como instrumento patrón, el cual cumple con la normativa IEC 61000-4-30 Clase A. Esta validación arrojó un margen de error para el registrador del 0,1% para el voltaje, 0,12% para la corriente, 0,1% para la potencia y 0,065% para la frecuencia.

Palabras clave: registrador, usuarios, medición, interconexión y validación

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: IMPLEMENTATION OF A PORTABLE ELECTRICAL PARAMETER RECORDER BASED ON SMART METERS TO OBTAIN ENERGY DEMAND IN LOW VOLTAGE USERS.

Authors: Oscar Javier Ninasunta Proaño

Melanie Johanna Toapanta Manzano

ABSTRACT

This project focused on the implementation of a portable recorder to monitor electrical parameters in low-voltage users. To this end, users were classified into residential, commercial, and small industrial categories, recognizing the different consumption patterns of user one. The technical specifications of the recorder were defined based on the actual needs of these users, including the ability to measure voltage, current, power, demand, and frequency, as well as considering criteria such as portability, data storage, and ease of installation. The meter consists of two devices interconnected wirelessly through a Zigbee module and Python programming. One of the devices, the recorder, connects to the low-voltage users' electrical distribution board, using conductors for voltage and 200 A CTs, suitable for an industrial user with a maximum capacity of 75 kVA. The other device, the receiver, connects to the users' nearest router to store the data in the cloud Thingsboard. The meter was installed in residential and commercial users, and the obtained data was analyzed and graphed using statistical software. In addition, the information was validated using a Fluke 1777 network analyzer as a reference instrument, which complies with IEC 61000-4-30 Class A standards. This validation yielded a margin of error for the recorder of 0,1% for voltage, 0,12% for current, 0,1% for power, and 0,065% for frequency.

Keywords: registrar, users, measurement, interconnection, and validation

INDICE

| | |
|--|----------|
| 1. INFORMACIÓN GENERAL..... | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 2.1. Situación Problemática | 2 |
| 2.2. Formulación del problema | 3 |
| 2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN..... | 3 |
| 2.3.1. Objeto de estudio | 3 |
| 2.3.2. Campo de acción | 3 |
| 2.4. BENEFICIARIOS | 3 |
| 2.4.1. Beneficiarios directos | 3 |
| 2.4.2. Beneficiarios indirectos | 3 |
| 2.5. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 2.6. OBJETIVOS | 4 |
| 2.6.1. General: | 4 |
| 2.6.2. Específicos:..... | 4 |
| 2.6.3. Sistema de tareas | 5 |
| 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 7 |
| 3.1. Antecedentes de la investigación..... | 7 |
| 3.2. Parámetros eléctricos | 8 |
| 3.2.1. Usuario residencial | 10 |
| 3.2.2. Usuario comercial..... | 11 |
| 3.2.3. Usuario industrial | 12 |
| 3.3. Alimentación monofásica | 13 |
| 3.3.1. Ventajas y desventajas de la alimentación monofásica..... | 13 |
| 3.3.2. Monofásico a dos hilos | 14 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.3.3. | Monofásico a tres hilos..... | 15 |
| 3.4. | Alimentación trifásica..... | 16 |
| 3.5. | Demanda eléctrica..... | 17 |
| 3.6. | Transformadores de corriente | 18 |
| 3.7. | Registrador de parámetros eléctricos | 20 |
| 4. | MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS | 21 |
| 4.1. | Variables del proceso | 22 |
| 4.2. | Niveles de voltaje..... | 23 |
| 4.2.1. | Nivel de tensión de transmisión..... | 23 |
| 4.2.2. | Nivel de tensión de distribución | 24 |
| 4.2.3. | Nivel de baja tensión | 24 |
| 4.3. | Caracterización de los usuarios de baja tensión..... | 24 |
| 4.3.1. | Pliego tarifario | 27 |
| 4.4. | Requerimientos del registrador portátil | 30 |
| 4.4.1. | Parámetros eléctricos | 31 |
| 4.4.2. | Portabilidad..... | 32 |
| 4.4.3. | Almacenamiento de datos..... | 33 |
| 4.4.4. | Esquema preliminar | 34 |
| 4.5. | Selección de equipos..... | 35 |
| 4.5.1. | Registrador de parámetros eléctricos..... | 35 |
| 4.5.2. | Medición de corriente | 38 |
| 4.5.3. | Medición de voltaje | 39 |
| 4.5.4. | Sistema de datos | 40 |
| 4.5.5. | Transmisión inalámbrica de datos | 41 |
| 4.5.6. | Plataforma en la nube | 43 |
| 4.6. | Formas de conexión | 44 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.6.1. | Conexión en usuarios monofásicos a 2 hilos..... | 44 |
| 4.6.2. | Conexión en usuarios monofásicos a 3 hilos..... | 45 |
| 4.6.3. | Conexión en usuarios trifásicos a 4 hilos | 46 |
| 4.6.4. | Conexión del módulo ZigBee..... | 47 |
| 4.7. | Distribución de los equipos..... | 47 |
| 4.7.1. | Distribución del equipo registrador de parámetros eléctricos | 48 |
| 4.7.2. | Distribución del equipo receptor de datos | 49 |
| 4.8. | Validación de datos..... | 50 |
| 4.8.1. | Porcentaje de error..... | 51 |
| 5. | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 52 |
| 5.1. | Implementación de equipos dentro del tablero | 52 |
| 5.1.1. | Equipo registrador de parámetros eléctricos | 52 |
| 5.1.2. | Equipo receptor de datos | 53 |
| 5.1.3. | Programación para los módulos ZigBee..... | 54 |
| 5.2. | Implementación en un usuario residencial..... | 55 |
| 5.2.1. | Conexión del equipo en usuario residencial | 56 |
| 5.2.2. | Análisis de los parámetros eléctricos del usuario residencial..... | 57 |
| 5.3. | Implementación en un usuario comercial | 59 |
| 5.3.1. | Conexión del equipo en usuario comercial | 60 |
| 5.3.2. | Análisis de los parámetros eléctricos del usuario comercial | 61 |
| 5.4. | Validación del equipo | 64 |
| 5.4.1. | Comparación de voltaje | 64 |
| 5.4.2. | Comparación de corriente..... | 65 |
| 5.4.3. | Comparación de potencia | 65 |
| 5.4.4. | Comparación de frecuencia | 66 |
| 5.5. | Presupuesto | 66 |

| | |
|---|-----------|
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 68 |
| 7. REFERENCIAS | 70 |
| 8. ANEXOS | 73 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 Usuarios de baja tensión residenciales | 10 |
| Figura 3.2 Usuarios de baja tensión comercial..... | 11 |
| Figura 3.3 Usuarios de baja tensión industrial | 12 |
| Figura 3.4 Forma de onda monofásica | 14 |
| Figura 3.5 Conexión monofásico a dos hilos | 15 |
| Figura 3.6 Conexión monofásico a tres hilos | 15 |
| Figura 3.7 Forma de onda trifásica..... | 16 |
| Figura 3.8 Conexión red trifásica | 17 |
| Figura 3.9 Transformador de corriente..... | 18 |
| Figura 3.10 Registrador de parámetros eléctricos | 20 |
| Figura 4.1 Diagrama de flujo de usuarios de baja tensión | 22 |
| Figura 4.2 Derivaciones de bajo voltaje | 24 |
| Figura 4.3 Usuarios de baja tensión..... | 25 |
| Figura 4.4 Distribución de un transformador monofásico..... | 26 |
| Figura 4.5 Distribución de un transformador trifásico | 27 |
| Figura 4.6 Parámetros eléctricos a considerar | 31 |
| Figura 4.7 Esquema preliminar del registrador portátil..... | 34 |
| Figura 4.8 Registrador de parámetros eléctricos EKM | 36 |
| Figura 4.9 Estructura del registrador eléctrico EKM | 38 |
| Figura 4.10 TC de núcleo dividido 200 A..... | 39 |
| Figura 4.11 Equipo receptor de datos | 40 |
| Figura 4.12 Puertos del equipo receptor de datos..... | 40 |
| Figura 4.13 Módulo Zigbee | 42 |
| Figura 4.14 Conexión monofásica a dos hilos..... | 44 |
| Figura 4.15 Conexión monofásica a tres hilos | 45 |
| Figura 4.16 Conexión trifásica a cuatro hilos..... | 46 |
| Figura 4.17 Conexión del módulo Zigbee al emisor y receptor | 47 |
| Figura 4.18 Distribución del registrador de parámetros eléctricos..... | 48 |
| Figura 4.19 Tablero plástico para el registrador de parámetros eléctricos | 49 |
| Figura 4.20 Distribución del receptor más módulo de transmisión inalámbrica..... | 49 |
| Figura 4.21 Dimensiones de la caja plástica para la recepción de datos | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.22 Equipo patrón para la validación de datos. | 50 |
| Figura 5.1 Implementación del registrador de parámetros eléctricos en tablero..... | 52 |
| Figura 5.2 Terminales de cable para conexión | 53 |
| Figura 5.3 Implementación del equipo receptor de datos..... | 53 |
| Figura 5.4 Terminales para conexión rápida | 54 |
| Figura 5.5 Información de la planilla eléctrica del usuario residencial..... | 55 |
| Figura 5.6 Tablero de distribución de energía eléctrica del usuario residencial | 55 |
| Figura 5.7 Forma de instalación de Tcs..... | 56 |
| Figura 5.8 Conexión del registrador de parámetros eléctrico al usuario residencial..... | 56 |
| Figura 5.9 Conexión del equipo receptor de datos al router..... | 56 |
| Figura 5.10 Gráfica del voltaje en función del tiempo | 57 |
| Figura 5.11 Gráfica de la corriente en función del tiempo | 58 |
| Figura 5.12 Gráfica de la potencia en función del tiempo..... | 58 |
| Figura 5.13 Gráfica de la frecuencia en función del tiempo | 59 |
| Figura 5.14 Gráfica de la demanda en función del tiempo..... | 59 |
| Figura 5.15 Información de la planilla eléctrica del usuario comercial | 60 |
| Figura 5.16 Tablero de distribución eléctrica del usuario comercial | 60 |
| Figura 5.17 Conexión de los TCs al usuario comercial..... | 60 |
| Figura 5.18 Implementación del equipo registrador en un usuario comercial | 61 |
| Figura 5.19 Conexión del equipo receptor de datos al router..... | 61 |
| Figura 5.20 Gráfica del voltaje en función del tiempo | 62 |
| Figura 5.21 Gráfica de la corriente en función del tiempo | 62 |
| Figura 5.22 Gráfica de la potencia en función del tiempo..... | 63 |
| Figura 5.23 Gráfica de la frecuencia en función del tiempo | 63 |
| Figura 5.24 Gráfica de la demanda en función del tiempo..... | 64 |
| Figura 5.25 Comparación de datos | 64 |
| Figura 5.26 Comparación de datos “voltaje” | 65 |
| Figura 5.27 Comparación de datos “corriente” | 65 |
| Figura 5.28 Comparación de datos “potencia” | 66 |
| Figura 5.29 Comparación de datos “frecuencia” | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Modalidad de titulación..... | 1 |
| Tabla 1.2 Área del conocimiento..... | 2 |
| Tabla 2.1 Sistema de tareas por objetivos | 5 |
| Tabla 3.1 Parámetros eléctricos..... | 9 |
| Tabla 3.2 Características de la alimentación monofásica..... | 13 |
| Tabla 3.3 Características de la red trifásica..... | 16 |
| Tabla 4.1 Variable independiente..... | 22 |
| Tabla 4.2 Variable dependiente..... | 23 |
| Tabla 4.3 Niveles de voltaje..... | 23 |
| Tabla 4.4 Parámetros eléctricos de un transformador monofásico..... | 26 |
| Tabla 4.5 Parámetros eléctricos de un transformador trifásico..... | 27 |
| Tabla 4.6 Categorías del pliego tarifario..... | 27 |
| Tabla 4.7 Pliego tarifario sin demanda..... | 28 |
| Tabla 4.8 Pliego tarifario con demanda..... | 29 |
| Tabla 4.9 Pliego tarifario con demanda horaria..... | 30 |
| Tabla 4.10 Criterios de portabilidad..... | 32 |
| Tabla 4.11 Criterios de almacenamiento de datos..... | 33 |
| Tabla 4.12 Comparación de equipos de registro..... | 35 |
| Tabla 4.13 Características específicas del registrador EKM..... | 37 |
| Tabla 4.14 Estructura del registrador EKM..... | 37 |
| Tabla 4.15 Características del TC de núcleo dividido..... | 39 |
| Tabla 4.16 Características del equipo receptor de datos..... | 40 |
| Tabla 4.17 Descripción comparativa en la transmisión de datos..... | 41 |
| Tabla 4.18 Características del módulo Zigbee..... | 42 |
| Tabla 4.19 Comparaciones entre plataformas en la nube..... | 43 |
| Tabla 4.20 Descripción de la conexión monofásica a dos hilos..... | 44 |
| Tabla 4.21 Descripción de la conexión monofásica a tres hilos..... | 45 |
| Tabla 4.22 Descripción de la conexión trifásica a cuatro hilos..... | 46 |
| Tabla 4.23 Descripción de la incertidumbre de medición según la norma IEC 61000-4-30 ... | 51 |
| Tabla 5.1 Descripción de la programación para los módulos Zigbee..... | 54 |
| Tabla 5.2 Detalle del presupuesto..... | 67 |

1. INFORMACIÓN GENERAL.

Tema del proyecto: Implementación de un registrador portátil de parámetros eléctricos basado en medidores inteligentes para la obtención de la demanda energética en usuarios de baja tensión.

Modalidad de Titulación:

Tabla 1.1 Modalidad de titulación

| Modalidad de titulación | Homologaciones para informe final de titulación | Selección |
|------------------------------|---|-----------|
| | Informe de propuesta tecnológica | X |
| Propuesta tecnológica | Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual. Artículo científico | |
| Proyecto de investigación | Informe de Proyecto de investigación Artículo científico | |
| | Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual. | |
| Examen de indicadores de RDA | | |

Equipo de Trabajo:

- Ninasunta Proaño Oscar Javier
- Toapanta Manzano Melanie Johanna
- Ing. Cruz Panchi Luis Rolando

Área de Conocimiento:

Tabla 1.2 Área del conocimiento

| Área del conocimiento | Subárea del conocimiento | Subárea específica del conocimiento |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 07 Ingeniería, Industria y Construcción | 071 Ingeniería y Profesiones Afines | 0713 Electricidad y energía |

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublínea de investigación de la Carrera: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Situación Problemática

La obtención de la demanda energética en usuarios de baja tensión representa un desafío significativo que impacta la sostenibilidad del consumo de energía eléctrica. Dentro de la novena Conferencia Mundial Anual sobre Eficiencia Energética se destacó la importancia de promover acciones concretas dentro de los usuarios de baja tensión por su rotundo crecimiento, en donde se busca mejorar la eficiencia energética empezando por monitorear y evaluar los parámetros principales eléctricos [1].

La implementación de un registrador portátil de parámetros eléctricos para la obtención de la demanda energética en usuarios de baja tensión aborda una importante necesidad en el ámbito de racionalizar la energía eléctrica, este equipo supera las limitaciones de los métodos de medición tradicionales, que son propensos a imprecisiones y errores debido a la recopilación manual de datos. Al integrar tecnología inteligente en la medición de parámetros eléctricos, se busca proporcionar una solución precisa y confiable para la obtención de datos en tiempo real, permitiendo a los usuarios residenciales, comerciales e industriales monitorear y gestionar eficazmente su consumo de energía.

La variabilidad en la demanda energética de usuarios de baja tensión, ya sean residenciales, comerciales o industriales, se debe a factores como la diversidad de actividades, equipos utilizados y hábitos de consumo. A pesar del crecimiento en la demanda energética, existe una notable carencia de investigaciones que aborden de manera integral las pautas de consumo de energía de estos usuarios, lo que limita la comprensión profunda de este aspecto crítico y obstaculizando la implementación de estrategias que permitan mejorar la gestión en el ámbito eléctrico.

2.2. Formulación del problema

La ausencia de dispositivos portátiles especializados para la medición y adquisición de datos sobre la demanda energética en usuarios de baja tensión restringe la capacidad de identificar oportunidades de mejora en la gestión de energía eléctrica.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de estudio

Medición y adquisición de datos relacionados con la demanda energética en usuarios de baja tensión.

2.3.2. Campo de acción

- 33 Ciencias Tecnológicas
- 3306 Ingeniería y Tecnologías Eléctricas: 3306.02 Aplicaciones eléctricas

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos incluyen a los usuarios de baja tensión, empresas proveedoras de servicios eléctricos e investigadores del área eléctrica.

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Una mejor gestión de consumo energético viene relacionada con el parte medio ambiental, así como también en la economía local.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El Ministerio de Energía y Minas, a través de las empresas distribuidoras como CNEL EP y la Empresa Eléctrica Quito, mencionan la importancia de implementar registradores de parámetros eléctricos en base a medidores inteligentes con la finalidad de mejorar la calidad del servicio eléctrico, la eficiencia energética y la gestión de la red [2].

Con la implementación de equipos inteligentes a los usuarios residenciales, comerciales e industriales es factible obtener una lectura remota y precisa de la demanda energética, así como también se facilita la detección de pérdidas de energía. El establecimiento de un protocolo de base de datos para el registro de parámetros eléctricos y demanda energética también presenta su importancia para garantizar la integridad y consistencia de la información recolectada. Este protocolo proporciona una estructura clara para el almacenamiento de datos, asegurando que se registren de manera precisa y coherente. Al definir procedimientos estandarizados para el ingreso y consulta de datos, se promueve la consistencia en el registro, mejorando la calidad de la información disponible para la toma de decisiones.

El análisis de los datos obtenidos durante la verificación del registrador portátil inteligente no solo permite validar su correcto funcionamiento, sino que también brinda información valiosa sobre los hábitos de consumo energético de los usuarios de baja tensión. Al identificar patrones de consumo, picos de demanda y posibles áreas de mejora, se facilita la planificación estratégica del consumo energético.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General:

Implementar un registrador portátil de parámetros eléctricos basado en medidores inteligentes para caracterizar la demanda de energía eléctrica en usuarios de baja tensión.

2.6.2. Específicos:

- Identificar los tipos de usuarios de baja tensión en el Ecuador para comprender las diferentes demandas de energía y los patrones de consumo en cada tipo de usuario.
- Definir las características del registrador de parámetros eléctricos en base a las especificaciones técnicas de los usuarios de baja tensión.
- Almacenar los datos en tiempo real de los parámetros eléctricos relacionados con la demanda energética de un usuario de baja tensión.

- Desarrollar pruebas de funcionamiento validando los datos obtenidos del medidor inteligente para obtener la curva de demanda energética de un usuario de baja tensión.

2.6.3. Sistema de tareas

Tabla 2.1 Sistema de tareas por objetivos

| Objetivos específicos | Actividades (tareas) | Resultados esperados | Técnicas, Medios e Instrumentos |
|---|---|---|--|
| Identificar los tipos de usuarios de baja tensión en el Ecuador para comprender las diferentes demandas de energía y los patrones de consumo en cada tipo de usuario. | Clasificación de los usuarios de baja tensión según las Guías eléctricas de la EEQ y la EEA | Esquema de información necesaria del marco conceptual que respalda el proyecto. | Bibliografías Proyectos de Titulación |
| | Recopila datos sobre el consumo de energía eléctrica en usuarios de baja tensión. | Perfil detallado del consumo de energía eléctrica en usuarios de baja tensión. | Documentos Artículos Científicos |
| Definir las características del registrador de parámetros eléctricos en base a las especificaciones técnicas de los usuarios de baja tensión. | Especificación detallada de las características técnicas del registrador, incluyendo los parámetros eléctricos a medir. | Bases para la selección y adquisición de un dispositivo adecuado que permita el monitoreo | Investigación de mercado Data Sheets |
| | Implementación del registrador de parámetros eléctricos en un usuario de baja tensión | Adquisición, instalación y puesta en marcha del registrador de parámetros eléctricos | |

| | | | |
|---|--|---|--|
| <p>Almacenar los datos en tiempo real de los parámetros eléctricos relacionados con la demanda energética de un usuario de baja tensión.</p> | <p>Programación del registrador portátil inteligente para que registre los datos de consumo de energía del tablero de distribución.</p> | <p>Obtención de datos sobre la demanda energética del usuario de baja tensión a lo largo del tiempo.</p> | <p>Software de monitoreo energético</p> <p>Equipo de montaje y fijación</p> |
| | <p>Adquisición los datos en tiempo real de los parámetros eléctricos relevantes para la demanda energética.</p> | | |
| <p>Desarrollar pruebas de funcionamiento validando los datos obtenidos del medidor inteligente para obtener la curva de demanda energética de un usuario de baja tensión.</p> | <p>Recolección de datos detallados de la curva de demanda energética a lo largo de un período específico para su posterior análisis.</p> | <p>Identificación de tendencias de consumo, picos de demanda y variaciones en la curva que puedan indicar comportamientos de consumo específicos.</p> | <p>Registrador portátil de parámetros eléctricos.</p> <p>Instrumentos de medición eléctrica</p> <p>Software de análisis de datos</p> |
| | <p>Uso de métodos y herramientas de análisis de datos para examinar las características de la curva de demanda.</p> | <p>Identificación periodos en los que la demanda energética excede la capacidad normal de suministro</p> | |

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. Antecedentes de la investigación

En investigaciones previas relacionadas con la implementación de un registrador portátil de parámetros eléctricos basado en medidores inteligentes, se han considerado los siguientes:

En el artículo científico denominado Monitoreo de Parámetros Eléctricos en Baja Tensión con Arduino para uso Eficiente de Energía Eléctrica realizado en México, se utilizó un microcontrolador Arduino UNO, sensores de voltaje y corriente que permiten la medición a niveles bajos de alimentación; se diseñó un circuito electrónico con Fritzing para la recepción de señales analógicas y envío de señales digitales al microcontrolador por medio de transductores y amplificadores ideales para la conversión. El funcionamiento se basó en detectar, visualizar y enviar las variables monitoreadas a una base de Excel configurada con un programa denominado PLX-DAQ en donde se registran los parámetros por fase del sistema para su posterior análisis mediante ecuaciones que determinan las potencias eléctricas (activa, aparente y reactiva) del sistema y factor de potencia [3].

En Chile se presentó un artículo científico relacionado con la medición avanzada inteligente hacia los usuarios residenciales en donde categorizó a los clientes residenciales sobre la base de datos de consumo adquiridos a partir de medidores inteligentes mediante el uso de una metodología en base al algoritmo K-means con 1179 clientes interconectados a redes eléctricas de baja tensión del sur de Chile. Los resultados se validaron mediante el uso de medidas de la teoría de los conjuntos aproximados. Específicamente, se caracterizan grupos integrados por medio de sus centroides, haciendo posible la transformación de enormes volúmenes de datos recopilados en conocimientos útiles, lo que trae una consecuencia en beneficio tanto para el propio cliente residencial como para la empresa distribuidora de energía eléctrica [4].

En la Universidad de Israel se presentó un proyecto enfocado a la implementación de un medidor inteligente de parámetros eléctricos para un sistema monofásico bifilar con transmisión inalámbrica de datos a una central para monitorear el consumo eléctrico y controlar el medidor de energía de forma remota. Se realizó un análisis teórico y práctico sobre los medidores inteligentes, sus componentes y los enfoques de investigación. Posteriormente, se diseñó el hardware y software con el uso de dispositivos como Arduino Uno, sensores, pantalla LCD, circuitos de corte/reconexión y una shield GSM SIM900. Se realizaron pruebas de verificación para la transmisión de valores de voltaje, corriente y energía eléctrica a una pantalla LCD y a

un computador central, permitiendo un control periódico del consumo mensual de energía con la opción de corte y reconexión de energía al medidor [5].

En la ciudad de Cuenca se presentó un artículo científico relacionado con el uso de un instrumento electrónico desarrollado localmente para registrar los parámetros eléctricos relacionados con el consumo energético en viviendas, este equipo electrónico utilizó el microcontrolador PIC30F3014 conjuntamente con la aplicación APP Inventor, en donde se obtuvieron registro de valores como: tensión, corriente RMS, factor de potencia y potencia activa de manera continua en periodos de un segundo [6].

En la Universidad Politécnica Salesiana se desarrolló un proyecto de diseño de un medidor de energía electrónico para vivienda, en donde se utilizó un Arduino Mega que se encargó de procesar los datos provenientes de los elementos de medición y enviar la información al usuario final con lectura de energía consumida y su costo, también se utilizó una placa Raspberry PI y el programa para bases de datos MySQL para el almacenamiento de los datos conjuntamente con un servidor web, esta información se validó a través del uso de instrumentos de medición de precisión como el multímetro de la marca FLUKE 189 y la pinza amperimétrica de la misma marca y modelo i1010 [7].

Dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi se realizó un estudio para obtener la curva de demanda energética de los dos bloques universitarios mediante un diagnóstico energético, en donde como principal equipo se contó con un medidor inteligente EKM Metering Puls V.4 seleccionado por cumplir con las características planteadas en la normativa ANSI, así como también el uso del software EKM Dash para el monitoreo de los parámetros eléctricos en tiempo real, se aplicó un modelo estadístico de probabilidad donde se caracterizó las curvas de demanda de manera mensual y anual validada bajo la prueba no paramétricas de Kolmogorov Smirnov indicando que se siguió una distribución normal para el tratamiento de los datos que proporcionaron los medidores inteligentes [8].

3.2. Parámetros eléctricos

Los parámetros eléctricos son magnitudes físicas que describen las características de un sistema eléctrico o de un circuito eléctrico en un momento dado. Estos parámetros son fundamentales para comprender y analizar el comportamiento de los circuitos eléctricos, así como para diseñar, operar y mantener sistemas eléctricos de manera eficiente [8]. Los parámetros que son

necesarios para realizar las mediciones de baja tensión se presentan en la Regulación N. ARCONEL 008/24 y en la tabla 3.1 se pueden verificar estos parámetros [9].

Tabla 3.1 Parámetros eléctricos [7]

| Parámetro Eléctrico | Unidad de Medida | Definición |
|----------------------------|-------------------------|---|
| Voltaje | Voltios (V) | Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, que genera la fuerza necesaria para que circule la corriente eléctrica. |
| Corriente | Amperios (A) | Flujo de carga eléctrica en un conductor en un determinado tiempo. Representa la cantidad de carga que pasa por un punto en un segundo. |
| Potencia Activa | Vatios (W) | Potencia real consumida por un dispositivo eléctrico para realizar un trabajo útil, como generar luz o movimiento. |
| Potencia Reactiva | Vatios Reactivos (VAR) | Componente de la potencia que oscila entre la fuente y la carga debido a la diferencia de fase entre voltaje y corriente en circuitos inductivos o capacitivos. |
| Potencia Aparente | Voltiamperios (VA) | Magnitud total de la potencia que fluye en un circuito eléctrico, considerando tanto la potencia activa como la potencia reactiva. |
| Factor de Potencia | Adimensional | Relación entre la potencia activa y la potencia aparente en un sistema eléctrico. Indica la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica. |
| Frecuencia | Hertz (Hz) | Número de ciclos por segundo de una onda eléctrica, que determina la velocidad a la que cambia la dirección de la corriente eléctrica en un sistema eléctrico. |

3.2.1. Usuario residencial

Para suministrar electricidad a los usuarios de baja tensión residenciales, se utilizan transformadores de distribución que reducen la tensión de la red de media (con valores de 13,8 kV, 22 kV) a baja tensión que se suministra a los hogares siendo generalmente 120 V o 240 V. Estos transformadores de distribución suelen ser transformadores monofásicos o trifásicos, dependiendo de la configuración de la red eléctrica [10]. En la figura 3.1 se puede observar una distribución desde las redes aéreas hacia cada una de las viviendas pero con una configuración monofásica a 2 hilos.

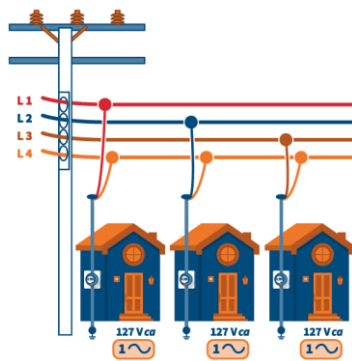


Figura 3.1 Usuarios de baja tensión residenciales [11]

La demanda de energía eléctrica de un usuario residencial puede oscilar entre 10 kW. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos valores pueden variar significativamente dependiendo de factores como el tamaño de la vivienda, los electrodomésticos utilizados, el nivel de eficiencia energética de los equipos, entre otros [3].

Características de los Usuarios de Baja Tensión Residenciales:

- **Consumo de Energía:** Los usuarios de baja tensión residenciales representan un consumo de electricidad para diversas actividades cotidianas como iluminación, calefacción, refrigeración, electrodomésticos, entre otros.
- **Patrones de Consumo:** Los usuarios residenciales tienden a tener patrones de consumo predecibles, con picos de demanda durante las horas de la mañana y la tarde-noche, cuando las familias están en casa y utilizan más electrodomésticos.
- **Eficiencia Energética:** Los usuarios residenciales están cada vez más interesados en la eficiencia energética y el uso de tecnologías como bombillas LED, electrodomésticos de bajo consumo energético y sistemas de gestión energética para reducir sus facturas de electricidad.

- **Impacto en la Demanda:** Los usuarios residenciales pueden tener un impacto significativo en la demanda de energía, especialmente durante eventos de pico, lo que puede afectar la estabilidad del sistema eléctrico.

3.2.2. Usuario comercial

Los usuarios de baja tensión comerciales son aquellos clientes que utilizan electricidad para actividades comerciales, como tiendas, oficinas, restaurantes, pequeñas empresas, entre otros. En la figura 3.2 se puede observar una distribución de la red de baja tensión aérea hacia cada uno de los usuarios comerciales, se puede observar una configuración monofásica a 3 hilos.

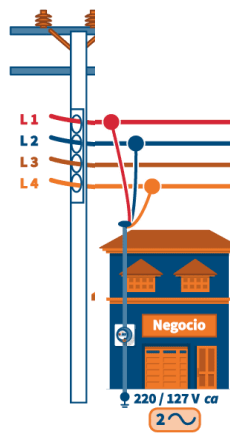


Figura 3.2 Usuarios de baja tensión comercial [3]

Características de los Usuarios de Baja Tensión Comerciales:

- **Consumo de Energía:** Los usuarios comerciales de baja tensión suelen tener un consumo de energía más alto que los usuarios residenciales debido a la operación de equipos comerciales, iluminación, sistemas de calefacción y refrigeración, entre otros.
- **Patrones de Consumo:** Los usuarios comerciales pueden tener patrones de consumo más uniformes a lo largo del día en comparación con los usuarios residenciales, ya que muchas empresas operan durante horas laborales regulares.
- **Eficiencia Energética:** Los usuarios comerciales suelen estar más interesados en la eficiencia energética para reducir costos operativos y cumplir con regulaciones ambientales.
- **Equipos Específicos:** Los usuarios comerciales pueden requerir equipos eléctricos especializados, como sistemas de refrigeración, equipos informáticos, iluminación comercial y maquinaria específica para sus operaciones [11].

3.2.3. Usuario industrial

Un usuario de baja tensión industrial es un cliente industrial que recibe energía eléctrica a través de una red de distribución de baja tensión, que generalmente es hasta 1.000 voltios. Estos usuarios pueden ser empresas de diferentes tamaños que utilizan la energía eléctrica para sus procesos productivos [4]. En la figura 3.3 se puede observar una distribución aérea de baja tensión que recae sobre una industria en donde se presenta una configuración a 4 hilos.

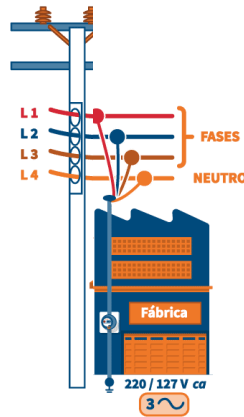


Figura 3.3 Usuarios de baja tensión industrial [11]

Características de los Usuarios de Baja Tensión Industriales

- **Consumo de Energía:** Los usuarios industriales de baja tensión en Ecuador suelen tener un consumo de energía significativamente mayor que los usuarios residenciales y comerciales debido a la operación de maquinaria pesada, sistemas de producción, sistemas de iluminación industrial.
- **Patrones de Consumo:** Los usuarios industriales pueden tener patrones de consumo más estables y continuos a lo largo del día, dependiendo del tipo de industria y del turno de trabajo. Algunas industrias pueden operar 24/7, lo que implica un consumo constante de energía.
- **Eficiencia Energética:** La eficiencia energética es un aspecto importante para los usuarios industriales en Ecuador, ya que puede tener un impacto significativo en los costos operativos y en la competitividad de la empresa.
- **Equipos Específicos:** Los usuarios industriales pueden requerir equipos eléctricos especializados y de alta potencia, como motores industriales, sistemas de refrigeración, sistemas de automatización, entre otros, para sus procesos de producción.

3.3. Alimentación monofásica

Una red monofásica es un sistema de distribución de energía eléctrica en el cual la corriente eléctrica fluye a través de un conductor en una sola fase. En este tipo de red, la energía se suministra a través de un cable que contiene un conductor activo y un conductor neutro, que forman un circuito eléctrico completo. En la tabla 3.2 se tiene las características de este tipo de alimentación monofásica.

Tabla 3.2 Características de la alimentación monofásica [8]

| Característica | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Fase Única | La energía eléctrica se suministra en una sola fase, lo que significa que la corriente alterna varía en amplitud y dirección en un ciclo completo. |
| Voltaje | El voltaje oscila entre dos valores máximos opuestos, creando un ciclo de voltaje que se repite a una frecuencia específica. |
| Aplicaciones Domésticas y Comerciales | Son comunes en aplicaciones residenciales y comerciales de pequeña escala, donde la demanda de energía es relativamente baja y no se requiere una potencia trifásica. |
| Conexión de Cargas | Las cargas eléctricas se conectan entre el conductor activo y el conductor neutro. Las cargas monofásicas típicas incluyen electrodomésticos, iluminación, equipos de oficina. |
| Limitaciones de Potencia | Tiene limitaciones en términos de potencia que puede suministrar en comparación con sistemas trifásicos. Las aplicaciones de alta potencia necesitan trifásica. |
| Equilibrado de la Carga | Es crucial mantener un equilibrio en la carga entre las fases para evitar sobrecargas y garantizar un suministro de energía estable. |

3.3.1. Ventajas y desventajas de la alimentación monofásica

Ventajas de la red monofásica

- Es más simple y económica de instalar en comparación con sistemas trifásicos.
- Adecuada para aplicaciones residenciales y comerciales de pequeña escala.

- Requiere menos mantenimiento en general [12].

Desventajas de la red monofásica

- Limitada en términos de potencia que puede suministrar.
- Menos eficiente para aplicaciones de alta potencia.
- Puede experimentar desequilibrios de carga si no se gestiona adecuadamente.

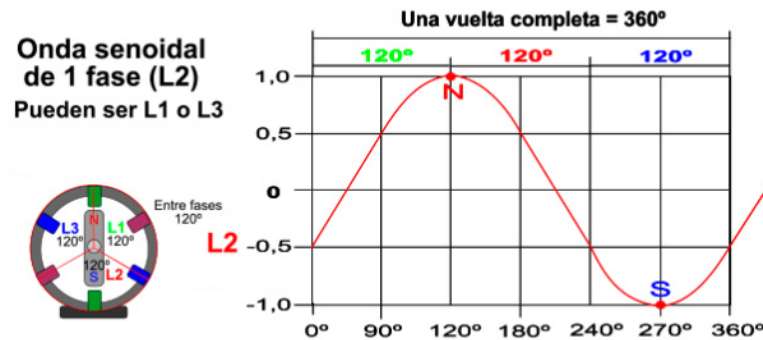


Figura 3.4 Forma de onda monofásica [13]

3.3.2. Monofásico a dos hilos

En un sistema monofásico a dos hilos, se utiliza una sola fase y dos conductores para suministrar energía eléctrica como se observa en la figura 3.5.

Teoría básica detrás de un sistema monofásico a dos hilos:

- **Fase (L):** En un sistema monofásico a dos hilos, se tiene una sola fase, que es la corriente alterna que varía con el tiempo. La fase se representa como L y proporciona la energía eléctrica.
- **Conductores:** Se utilizan dos conductores: uno para la fase (L) y otro para el neutro (N). El conductor de fase lleva la corriente de ida y el neutro devuelve la corriente de retorno.
- **Voltaje:** En un sistema monofásico a dos hilos, el voltaje se mide entre la fase (L) y el neutro (N). La tensión es la diferencia de potencial eléctrico entre estos dos conductores.
- **Aplicaciones:** Este tipo de sistema se utiliza comúnmente en instalaciones residenciales y en pequeños comercios donde la demanda de energía es relativamente baja.

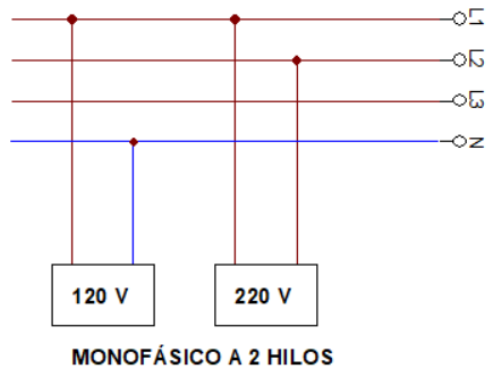


Figura 3.5 Conexión monofásica a dos hilos

3.3.3. Monofásico a tres hilos

En un sistema monofásico a tres hilos, se utiliza una sola fase y tres conductores para suministrar energía eléctrica. En la figura 3.6 se presenta la conexión monofásica a 3 hilos [14].

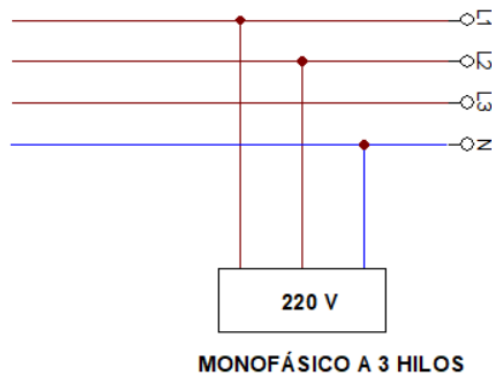


Figura 3.6 Conexión monofásica a tres hilos

- **Fase (L):** Al igual que en el sistema monofásico a dos hilos, en un sistema monofásico a tres hilos se tiene una sola fase, representada como L. Esta fase proporciona la energía eléctrica.
- **Conductores:** Se utilizan tres conductores: uno para la fase (L), uno para el neutro (N) y uno para el conductor de tierra (PE). El conductor de fase lleva la corriente de ida, el neutro devuelve la corriente de retorno y el conductor de tierra se utiliza para protección.
- **Voltaje:** En un sistema monofásico a tres hilos, el voltaje se mide entre la fase (L) y el neutro (N) o entre la fase (L) y el conductor de tierra (PE). La tensión es la diferencia de potencial eléctrico entre estos conductores.

- **Aplicaciones:** Este tipo de sistema se utiliza en instalaciones donde se requiere una mayor capacidad de corriente y potencia, como en algunos equipos industriales y comerciales.

3.4. Alimentación trifásica

Una red trifásica es un sistema de distribución de energía eléctrica en el que se utilizan tres corrientes alternas con una diferencia de fase de 120 grados entre cada una como se observa en la figura 3.7. Este tipo de sistema se emplea ampliamente en aplicaciones industriales, comerciales y en algunos casos residenciales debido a sus ventajas en eficiencia y potencia [11]. Sus características técnicas se presentaron en la tabla 3.3.

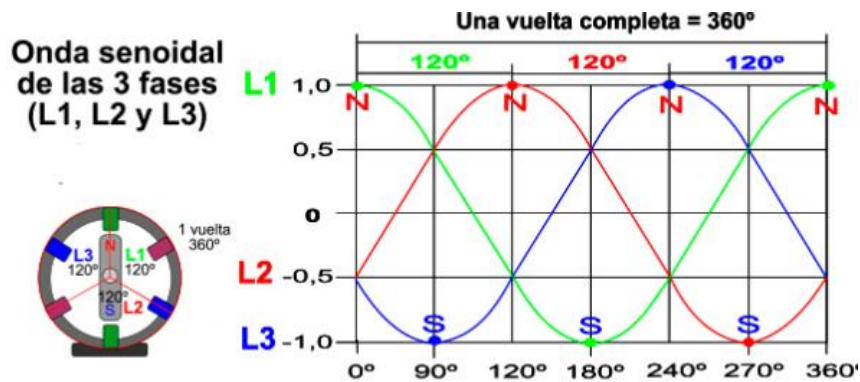


Figura 3.7 Forma de onda trifásica [14]

Tabla 3.3 Características de la red trifásica [15]

| Característica | Descripción |
|---------------------|--|
| Tres Fases | Se utilizan tres conductores activos (fases) y un conductor neutro. Cada fase tiene una forma de onda sinusoidal desfasada 120 grados eléctricos con respecto a las otras fases. |
| Voltaje y Corriente | La combinación de las tres fases permite un suministro de energía más constante y equilibrado en comparación con una red monofásica. El voltaje entre dos fases (voltaje de línea) es mayor que el voltaje entre una fase y el neutro. |
| Potencia | La potencia en un sistema trifásico es más constante y equilibrada que en un sistema monofásico, lo que permite una mayor eficiencia en la transmisión y distribución de energía. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Aplicaciones Industriales | Es ampliamente utilizada en aplicaciones industriales debido a su capacidad para alimentar maquinaria pesada, motores eléctricos de alto rendimiento y sistemas de climatización. |
| Conexiones Estrella y Triángulo | Las cargas se pueden conectar en configuraciones estrella (Y) o triángulo (Δ) dependiendo de los requisitos de la aplicación y la distribución de voltaje. |
| Niveles de Tensión | Los niveles de tensión en una red trifásica varían desde baja tensión (por ejemplo, 230 V en sistemas residenciales) hasta niveles de alta tensión utilizados en la transmisión de energía. |

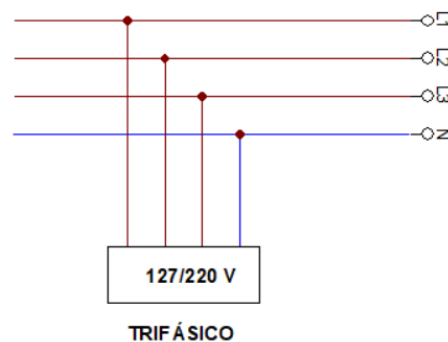


Figura 3.8 Conexión red trifásica

Ventajas de una Red Trifásica:

- Mayor eficiencia en la transmisión y distribución de energía.
- Capacidad para alimentar cargas de alta potencia de forma eficiente.
- Menor corriente requerida en comparación con sistemas monofásicos para la misma potencia.
- Equilibrio de cargas entre las fases que contribuye a una operación más estable y eficiente de los equipos eléctricos.

3.5. Demanda eléctrica

La demanda eléctrica se refiere a la cantidad de energía eléctrica que un consumidor o un sistema eléctrico requiere en un momento dado para satisfacer sus necesidades de energía. Se expresa generalmente en kilovatios (kW) o megavatios (MW) y representa la potencia máxima que se necesita en un determinado momento [9].

Características de la Demanda Eléctrica:

- **Variabilidad:** La demanda eléctrica puede variar a lo largo del día, la semana o el año, dependiendo de factores como el clima, las actividades humanas, los horarios de trabajo y la estacionalidad.
- **Picos de Demanda:** En ciertos momentos del día, la demanda eléctrica puede alcanzar picos debido a la simultaneidad en el uso de equipos eléctricos, como durante las horas pico de consumo en un área residencial o comercial.
- **Demanda Máxima:** La demanda máxima es el valor más alto de consumo de energía registrado en un período específico. Las empresas eléctricas utilizan este dato para dimensionar sus infraestructuras y planificar la generación de energía.
- **Demanda Activa y Reactiva:** La demanda activa se refiere a la energía eléctrica utilizada para realizar un trabajo, como la iluminación o el funcionamiento de maquinaria. La demanda reactiva está relacionada con la energía necesaria para mantener la tensión en los sistemas eléctricos.

3.6. Transformadores de corriente

Los TC de medición se emplean para supervisar la corriente en tiempo real, documentar información y efectuar mediciones exactas en sistemas eléctricos. Por otro lado, los TC de protección se diseñan para identificar fallos y sobrecargas, activando sistemas de protección para evitar perjuicios a equipos y redes. Estos elementos eléctricos cumplen con las normativas IEC 61869 certificadas por la ANSI y la IEEE [16].

Los transformadores de corriente, también conocidos como transformadores de instrumentación o transformadores de intensidad, son dispositivos utilizados para medir la corriente eléctrica en un circuito de alta intensidad y transformarla en una corriente proporcionalmente menor que sea segura de medir con instrumentos de medición estándar. En la figura 3.9 se puede observar diferente tipo de TCs de manera física.



Figura 3.9 Transformador de corriente [7]

Tipos de Transformadores de Corriente:

- Transformadores de Corriente Tipo Barra (Bushing CTs): Son utilizados para medir corrientes en barras colectoras de alta tensión en instalaciones eléctricas de potencia.
- Transformadores de Corriente de Núcleo Partido (Split-Core CTs): Permiten una instalación sencilla al poder abrirse y cerrarse alrededor del conductor sin necesidad de desconectarlo.
- Transformadores de Corriente de Núcleo Sólido (Solid-Core CTs): Son utilizados en aplicaciones donde es posible desconectar el conductor para pasar a través del núcleo del transformador.
- Transformadores de Corriente de Núcleo Toroidal: Tienen forma de anillo y son utilizados en aplicaciones donde se necesita una alta precisión en la medición de corriente. [15]

Cómo Seleccionar un Transformador de Corriente:

- Corriente Nominal:

Seleccionar un transformador con una corriente nominal que sea igual o mayor que la corriente máxima que se espera medir en el circuito.

- Relación de Transformación:

Elegir la relación de transformación adecuada para convertir la corriente medida en una corriente proporcional y segura para el instrumento de medición.

- Precisión:

Considerar la precisión requerida para la medición. Los transformadores de corriente suelen tener clasificaciones de precisión, como 0,5; 1; 3.

- Frecuencia de Operación:

Asegurarse de que el transformador esté diseñado para la frecuencia de operación del sistema eléctrico en el que se va a utilizar.

- Tipo de Salida:

Determinar si se necesita una salida analógica (corriente) o digital para la integración con sistemas de supervisión y control.

- Condiciones Ambientales:

Considerar las condiciones ambientales en las que el transformador operará, como la temperatura ambiente, la humedad y la presencia de vibraciones.

3.7. Registrador de parámetros eléctricos

Los registradores de parámetros eléctricos son dispositivos utilizados para medir, registrar y analizar diferentes parámetros eléctricos en sistemas de energía eléctrica [10]. En la figura 3.10, se puede evidencia algunos equipos que tienen la capacidad de registrar parámetros eléctricos.



Figura 3.10 Registrador de parámetros eléctricos [18]

Función y uso:

Los registradores de parámetros eléctricos registran y almacenan datos sobre variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, entre otros.

Estos dispositivos son esenciales para monitorear la calidad de la energía, diagnosticar problemas en los sistemas eléctricos, realizar análisis de carga y optimizar el rendimiento energético [19].

Permiten detectar fluctuaciones de voltaje, interrupciones, sobretensiones, armónicos, desequilibrios de fase, entre otros eventos que pueden afectar la operación de los equipos eléctricos.

Tipos de registradores:

Hay diferentes tipos de registradores de parámetros eléctricos, como registradores portátiles, registradores de sobremesa y registradores montados en panel.

Algunos registradores también pueden ofrecer funciones avanzadas como la capacidad de realizar análisis armónico, registrar eventos transitorios y comunicarse de forma remota.

Beneficios:

Mejora del rendimiento energético: Ayudan a identificar oportunidades para optimizar el consumo de energía y mejorar la eficiencia de los sistemas eléctricos.

Diagnóstico de problemas: Facilitan la detección de problemas eléctricos como caídas de voltaje, picos de corriente, armónicos, entre otros, permitiendo una rápida resolución de problemas [20].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

En la propuesta tecnológica se centraliza en el desarrollo de un registrador portátil dirigido a usuarios de baja tensión, en conformidad con la normativa nacional vigente. El proceso metodológico se puede observar en la figura 4.1 da inicio con el estudio del perfil de los usuarios de baja tensión, empleando criterios normativos y técnicos para identificar y caracterizar a este grupo específico. Posteriormente, se definen los requerimientos del registrador portátil, estableciendo las especificaciones técnicas necesarias basadas en los parámetros eléctricos a registrar y la portabilidad requerida para su aplicación en campo. Finalmente, el registrador portátil implica la integración del medidor inteligente, transformadores de corriente (TCs), interfaz de comunicación y sistema de almacenamiento en un conjunto portátil, robusto y técnicamente fiable, logrando así un dispositivo funcional y adecuado para su uso en entornos eléctricos de baja tensión.

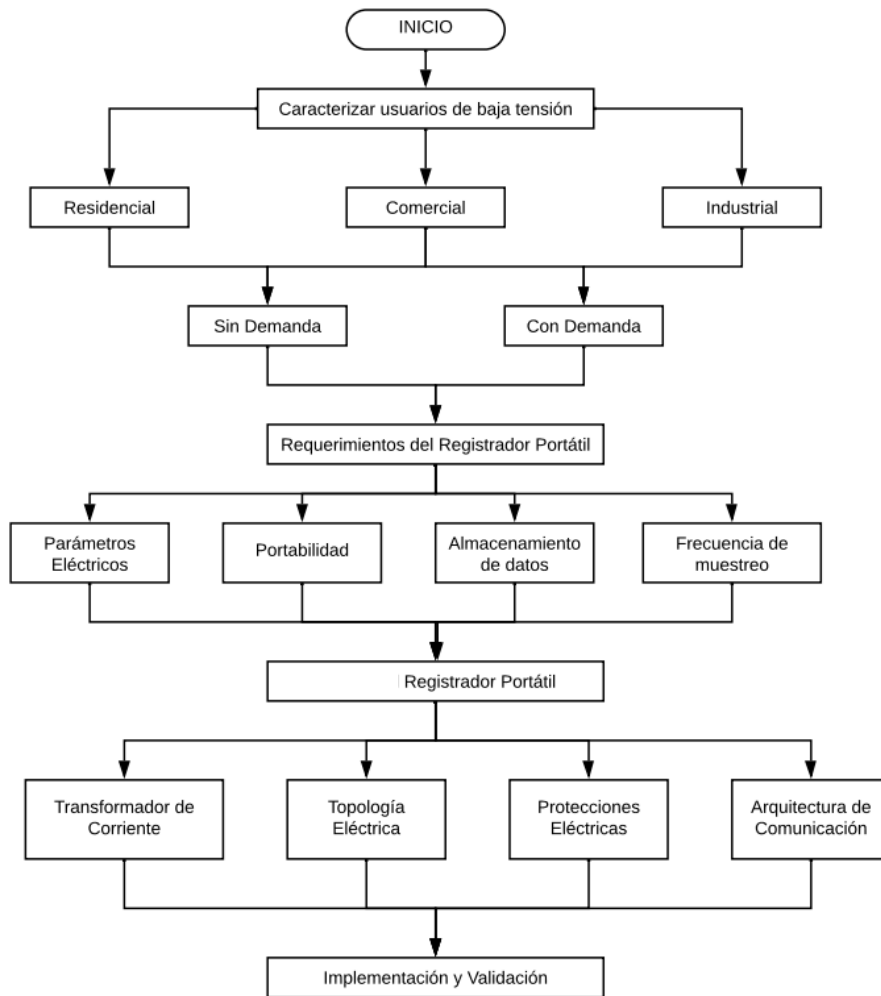


Figura 4.1 Diagrama de flujo

4.1. Variables del proceso

En la tabla 4.1 y 4.2 se identifican las variables de estudio según la relación de dependencia, variable independiente y variable dependiente. Los indicadores de estudio son los siguientes.

Tabla 4.1 Variable independiente

| Variable Independiente: Registro de parámetros eléctricos | | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------------|
| Concepto | Categoría | Ítem | Instrumentos |
| Conocer diferentes magnitudes eléctricas en un sistema eléctrico | Corriente | A | Registrador Eléctrico |
| | Voltaje | V | |
| | Potencia | kW – kVAR - kVA | |

Tabla 4.2 Variable dependiente

| Variable Dependiente: Demanda energética del usuario de baja tensión | | | |
|--|-------------------|-------------|-----------------------|
| Concepto | Categoría | Ítem | Instrumentos |
| Cantidad de energía eléctrica que un usuario requiere en un periodo de tiempo. | Energía eléctrica | kWh | Registrador Eléctrico |
| | Curva de demanda | - | Software |

4.2. Niveles de voltaje

Ecuador no es la excepción en la estandarización de los niveles de voltaje que se presentan en las líneas de transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. En la tabla 4.3 se puede observar una clasificación de los niveles de voltaje en bajo, medio y alto, en base a lo que menciona la Agencia de Regulación y Control de Energía.

Tabla 4.3 Niveles de voltaje [2]

| Nivel de Voltaje - NV | Grupo | Voltaje de entrega |
|------------------------------|--------------|---------------------------|
| | Bajo | Menor a 0,6 kV |
| | Medio | Entre 0,6 kV y 40 kV |
| Alto | Grupo 1 | Entre 40 kV y 138 kV |
| | Grupo 2 | Mayor a 138 kV |

4.2.1. Nivel de tensión de transmisión

En Ecuador, el nivel de voltaje en las líneas de transmisión de energía eléctrica es de 69 kV, 138 kV, 230 kV y 500 kV para la conexión de las centrales eléctricas con las subestaciones de distribución de energía.

4.2.2. Nivel de tensión de distribución

Para la distribución de energía a nivel regional y local, se utilizan voltajes de distribución que van desde 13,8 kV hasta 34,5 kV, dependiendo de la región y la infraestructura eléctrica específica.

4.2.3. Nivel de baja tensión

En las instalaciones eléctricas residenciales y comerciales en Ecuador, los niveles de voltaje comunes son:

- Monofásico: 120/240 V
- Trifásico: 127/220 V

Para instalaciones industriales, se pueden encontrar otros niveles de voltaje como 380 V, 440 V o 660 V, dependiendo de los equipos eléctricos utilizados y los requisitos de potencia de las instalaciones industriales.

En la figura 4.2 se visualiza el lado secundario del transformador con conexión en estrella, el cual dispone de 4 conductores: 3 de ellos corresponden a las fases y uno actúa como conductor neutro. Se identifican las derivaciones monofásicas con conexiones de dos y tres hilos a 127 V y 220 V respectivamente. A su vez, se observan derivaciones trifásicas con conexiones de 3 y 4 hilos.

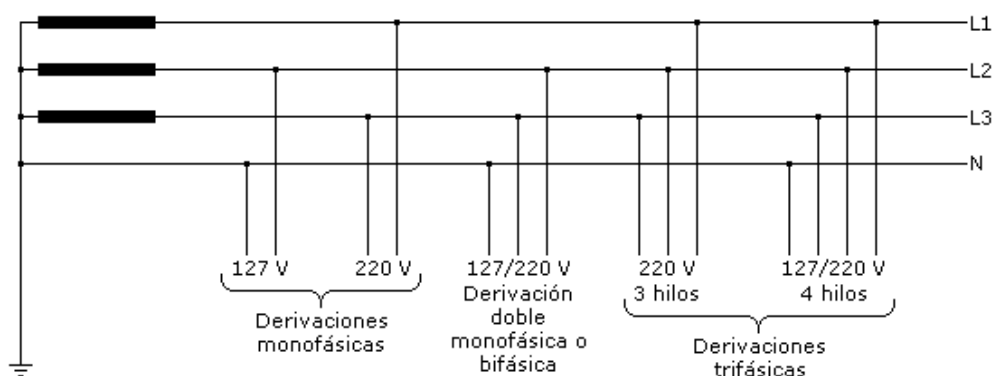


Figura 4.2 Derivaciones de bajo voltaje

4.3. Caracterización de los usuarios de baja tensión

Según el pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica, los usuarios en baja tensión se clasifican en diferentes categorías representadas en la figura 4.3 se determinan cuáles son:

- Residencial: Usuarios que utilizan la energía eléctrica en viviendas familiares.

- Comercial: Comercios y establecimientos que requieren energía para su funcionamiento.
- Industrial: Industrias que demandan una cantidad significativa de energía para sus procesos.

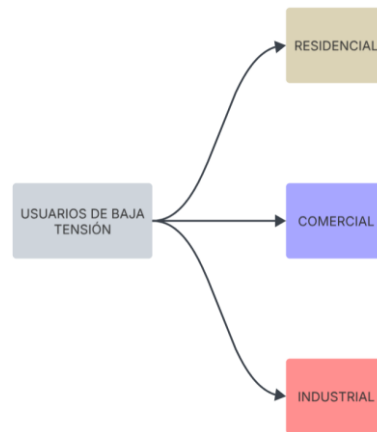


Figura 4.3 Usuarios de baja tensión

Un usuario de baja tensión es un consumidor de energía eléctrica que recibe electricidad con tensiones nominales que no superan los 600 voltios (0,6 kV) en corriente alterna. La empresa eléctrica destinada a entregar estos valores de voltaje utiliza transformadores de distribución que deben satisfacer la demanda energética, ya sea residencial, comercial o industrial. En la tabla 4.4 se presenta los transformadores de distribución potencias nominales entre 10 kVA y 75 kVA para la parte monofásica, mientras que en la tabla 4.5 muestra la parte trifásica de las potencias entre 30 kVA y 300kVA.

En la figura 4.4 se presenta la distribución de un transformador monofásico, que en la parte superior se encuentra la conexión para el lado primario que es la línea de media tensión 13,8/7,9 kV con un seccionador de protección, por el lado del secundario salen 3 conductores eléctricos, dos pertenecientes a la fase y uno al neutro.

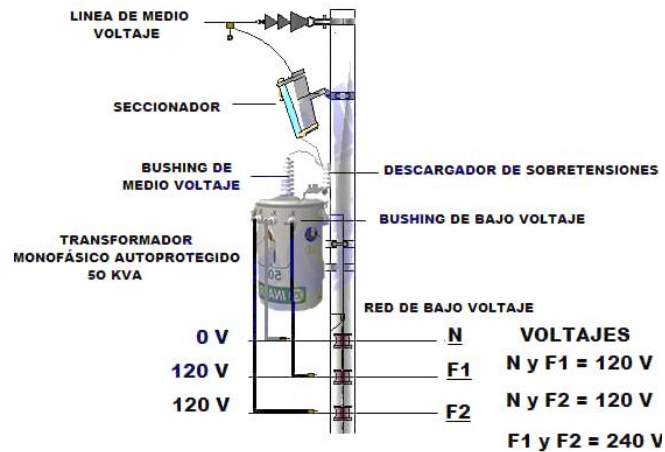


Figura 4.4 Distribución de un transformador monofásico

Tabla 4.4 Parámetros eléctricos de un transformador monofásico [2]

| Media tensión | Baja Tensión | N. Fases | Potencia Nominal |
|----------------------|--------------|----------|--------------------------------|
| 6,3 kV | | 2 | |
| 13,2 GrdY / 7,62 kV | 120 / 240 V | 1 | 10, 15, 25, 37, 50 y 75 kVA |
| 22,86 GrdY / 13,2 kV | | 1 | |

En una red trifásica de distribución eléctrica, el flujo de energía inicia en los conductores de media tensión. Estos conductores descienden hasta los seccionadores equipados con fusibles, actuando como salvaguardas ante posibles sobrecargas o cortocircuitos. Seguidamente, la energía es dirigida hacia el transformador de distribución trifásico, encargado de reducir la tensión de 13,8 kV del lado primario a 127/220 V del lado secundario. En esta figura 4.5 muestra las cuatro líneas de distribución de baja tensión: tres fases (L1, L2, L3) y un conductor neutro.

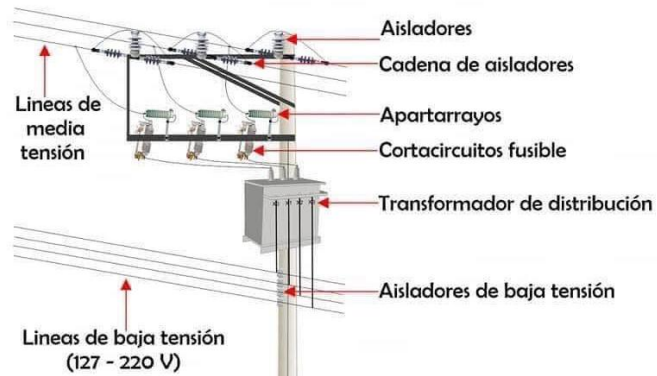


Figura 4.5 Distribución de un transformador trifásico

Tabla 4.5 Parámetros eléctricos de un transformador trifásico [2]

| Media tensión | Baja Tensión | N. Fases | Potencia Nominal |
|---------------|--------------|----------|-----------------------|
| 6,3 kV | | 3 | 30, 50, 75, 100, 112, |
| 13,2 kV | 127 / 220 V | 3 | 125, 150, 200, 250 y |
| 22,8 kV | | 3 | 300 kVA |

4.3.1. Pliego tarifario

La distribuidora de energía eléctrica es la responsable de determinar la categoría tarifaria de los consumidores, para lo cual, se debe realizar una evaluación sobre el uso de energía eléctrica consumida. En base a este análisis se establece que tipo de pliego tarifario le corresponde al solicitante. En la siguiente tabla 4.6 se puede observar un esquema en base a las categorías tarifarias correspondiente a los usuarios de bajo voltaje.

Tabla 4.6 Categorías del pliego tarifario [2]

| Categoría | Grupo de Consumo | Registro de demanda |
|-------------|------------------|---------------------|
| Residencial | Residencial | Sin demanda |
| General | Comercial | Sin demanda |
| | | Con demanda |

| | |
|------------|---------------------|
| | Con demanda horaria |
| | Sin demanda |
| Industrial | Con demanda |
| | Con demanda horaria |
| | Sin demanda |
| Otros | Con demanda |
| | Con demanda horaria |

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables establece y aprueba el nivel de tarifas que las empresas distribuidoras de energía eléctrica deben aplicar en base a las categorías, grupo de consumo y registro de demanda, en la siguiente tabla 4.7 y 4.8 se puede determinar los pliegos tarifarios independientes.

- Sin demanda

Dentro de la categoría comercial y general existe una tarifa que es “sin demanda” y es independientemente del grupo de consumo, estos pueden ser comercial, industrial artesanal, cultos religiosos, escenarios deportivos instalaciones de bombeo de agua, servicios comunitarios, entre otros. Su demanda facturable no puede exceder los 10 kW.

Tabla 4.7 Pliego tarifario sin demanda [14]

| Categoría | Grupo de Consumo | Nivel de Tensión V | Tarifa USD/kWh |
|------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Residencial | Residencial | 101 – 150 | 0,095 |
| | | 201 – 250 | 0,099 |
| General | Comercial | 1 – 300 | 0,092 |
| | | > 300 | 0,103 |

| | | |
|--|-----------|-------|
| Industrial Artesanal | 1 – 300 | 0,073 |
| | > 300 | 0,089 |
| Otros Asistencia Social, beneficio público y culto religioso | 101 – 200 | 0,036 |
| | 201 – 300 | 0,038 |

- Con demanda

Por otra parte, en la misma categoría general existen usuarios que presentan una tarifa de energía eléctrica “con demanda” de igual manera sin importar el grupo de consumo, siendo la demanda facturable superior a los 10 kW como se indica en la tabla 4.8, esto menciona que para que sea acreditados al servicio eléctrico, es necesario realizar un estudio o proyecto eléctrico que debe ser aceptado y aprobado por la distribuidora.

Tabla 4.8 Pliego tarifario con demanda [18]

| Categoría | Grupo de Consumo | Registro de demanda | Tarifa USD/kWh |
|------------------|---|----------------------------|-----------------------|
| General | Comercial | | 0,090 |
| | Industrial | Con demanda | 0,080 |
| | Otros | 4,79 kW – mes | 0,036 |
| | Entidades oficiales, escenarios deportivos, servicio comunitario y abonados especiales | | 0,038 |

- Con demanda horaria

Existe un registro de demanda por periodos de tiempo que de igual manera se aplica dentro de la categoría general cuya demanda facturable es superior a los 10 kW en los que se debe realizar un proyecto eléctrico con aceptación y aprobación de la empresa distribuidora de energía eléctrica, en la tabla 4.9 se determina los usuarios que poseen un restridor de demanda horaria

para determinar los consumos en dos periodos de tiempo. El primero de 08:00 am hasta las 22:00 pm, mientras que el segundo de 22:00 pm hasta las 08:00 am.

Tabla 4.9 Pliego tarifario con demanda horaria [3]

| Categoría | Grupo de Consumo | Registro de demanda | Hora | Tarifa USD/kWh | |
|------------------|-------------------------|--|---------------|-----------------------|-------|
| General | Comercial | | 08:00 – 22:00 | 0,090 | |
| | | | 22:00 – 08:00 | 0,072 | |
| | Industrial | Con demanda horaria | 08:00 – 22:00 | 0,065 | |
| | | | 22:00 – 08:00 | 0,069 | |
| | | Otros | 4,79 kW – mes | | |
| | | Entidades oficiales, escenarios deportivos, servicio comunitario y abonados especiales | | 08:00 – 22:00 | 0,080 |
| | | | 22:00 – 08:00 | 0,066 | |

4.4. Requerimientos del registrador portátil

El registrador portátil de parámetros eléctricos debe cumplir con una serie de requerimientos fundamentales para garantizar su funcionamiento. En primer lugar, debe contar con la capacidad de medir los parámetros eléctricos principales y necesarios para determinar la demanda de energía eléctrica.

Además, es importante que este equipo sea altamente portátil y de fácil instalación, permitiendo su desplazamiento ágil entre diferentes puntos de medición o diferentes usuarios sin complicaciones. La portabilidad facilita su uso en distintos entornos y situaciones, brindando flexibilidad al personal encargado de la medición de energía.

Otro requisito es la capacidad de almacenamiento de datos en la nube, lo que garantiza la seguridad y disponibilidad de la información recopilada. Almacenar los datos en la nube

asegura su respaldo automático y protección contra pérdidas accidentales, además de facilitar el acceso remoto a la información para su análisis y seguimiento.

Finalmente, la frecuencia de muestreo del equipo debe capturar con precisión las fluctuaciones en los parámetros eléctricos a lo largo del tiempo, permitiendo una representación fiel del consumo de energía y una evaluación detallada de la demanda eléctrica en diferentes períodos.

4.4.1. Parámetros eléctricos

Para determinar la demanda energética de un usuario en baja tensión, es necesario medir una serie de parámetros eléctricos, con los que posteriormente se desarrollará cálculos para obtener la energía consumida en un determinado período de tiempo. A continuación, se presentan en la figura 4.6 los principales parámetros que un usuario debe proporcionar o que deben ser medidos para obtener la demanda energética:

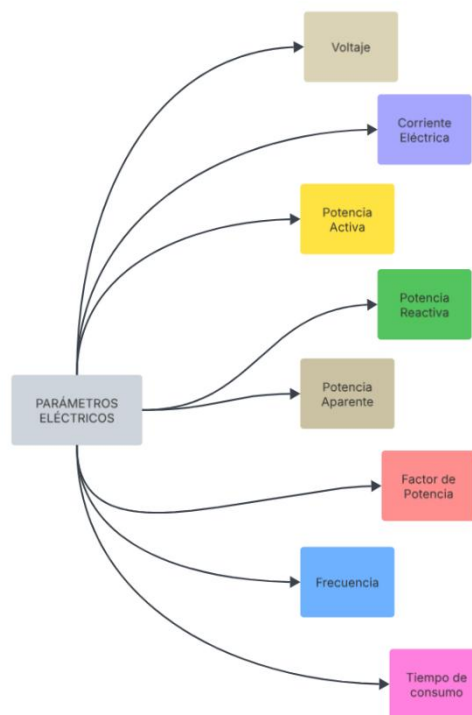


Figura 4.6 Parámetros eléctricos a considerar

Estos parámetros eléctricos deben ser determinados en cualquier usuario de baja tensión, ya sea residencial, comercial o industrial. Este último, donde el consumo eléctrico suele ser significativamente mayor, se debe establecer un estándar máximo de medición en base a sus transformadores de distribución de máximo una potencia de 75 kVA.

4.4.2. Portabilidad

Los criterios de portabilidad se refieren a las características y atributos que determinan la facilidad con la que el equipo (registrador de parámetros eléctricos) puede ser transportado, manipulado y utilizado en diferentes usuarios de baja tensión. Los criterios a considerarse para la selección del equipo se determinan en la tabla 4.10 que son los siguientes:

Tabla 4.10 Criterios de portabilidad

| Criterio | Descripción |
|----------------------------------|--|
| Peso y Dimensiones | Debe ser ligero y compacto para facilitar transporte y manejo. |
| Ergonomía | Contribuye a la comodidad del usuario durante el transporte y uso. |
| Facilidad de Instalación | Importante para una instalación y desmontaje sencillos en diferentes ubicaciones. |
| Batería o Fuente de Alimentación | Capacidad de funcionar con baterías u otras fuentes portátiles. |
| Resistencia y Durabilidad | Debe ser resistente a impactos y condiciones adversas para uso en diferentes situaciones. |
| Facilidad de Conexión | Capacidad de conexión rápida a otros dispositivos o redes para integración y transferencia de datos. |
| Transporte | Posibilidad de transporte seguro y cómodo, correas o estuches especiales. |
| Interfaz de Usuario Intuitiva | Una interfaz fácil de usar que contribuye a la accesibilidad y eficiencia en la operación del dispositivo. |

4.4.3. Almacenamiento de datos

Para definir el criterio de almacenamiento de datos en el registrador de parámetros eléctricos, es importante considerar varios aspectos que garantizarán la seguridad y la accesibilidad de la información registrada. En la tabla 4.11 se puede mostrar los diferentes criterios.

Tabla 4.11 Criterios de almacenamiento de datos

| Criterio | Descripción |
|------------------------------|--|
| Tipo de Almacenamiento | Local en datalogger o sincronizado con PC/servidor central. |
| Capacidad de Almacenamiento | Determinar espacio necesario considerando la cantidad de datos y frecuencia de muestreo. |
| Seguridad de los Datos | Implementar medidas como cifrado, control de acceso y copias de seguridad para proteger los datos. |
| Respaldo de Datos | Establecer una estrategia de respaldo para garantizar la integridad de la información. |
| Organización de los Datos | Mantener una estructura clara para facilitar la búsqueda y análisis de los datos. |
| Tiempo de Retención de Datos | Definir cuánto tiempo se mantendrán los datos almacenados. |
| Accesibilidad de los Datos | Asegurar que los datos sean fácilmente accesibles para su análisis. |
| Compatibilidad con Sistemas | Verificar que el sistema de almacenamiento sea compatible con otros dispositivos utilizados. |

4.4.4. Esquema preliminar

En la siguiente figura 4.7 se realizó una estructura simplificada del contenido de la propuesta tecnológica, en donde, se parte de la red eléctrica de media tensión (13,8 kV – 7,9 kV) dirigida hacia el transformador de distribución para una reducción en la tensión a 120 Vac – 240 Vac en el caso monofásico y 127 Vac – 220 Vac para el trifásico. Seguidamente se presenta la acometida exterior que es la conexión entre el transformador y el medidor convencional de la empresa distribuidora de electricidad a cada usuario de baja tensión, posteriormente se presenta la acometida interior que parte desde el medidor mencionado hacia la parte interna de la vivienda, local comercial o industria en donde se encuentra un tablero principal con sus protecciones eléctricas. Es ahí en donde se plantea la instalación del registrador portátil de parámetros eléctricos, este equipo debe almacenar los datos obtenidos del usuario en la nube, para lo cual esta transmisión puede ejecutarse bajo la lógica cableada o inalámbrica. Una vez obtenidos los datos de interés en la nube se procede al desarrollo y obtención de la demanda energética a través de una computadora portátil.

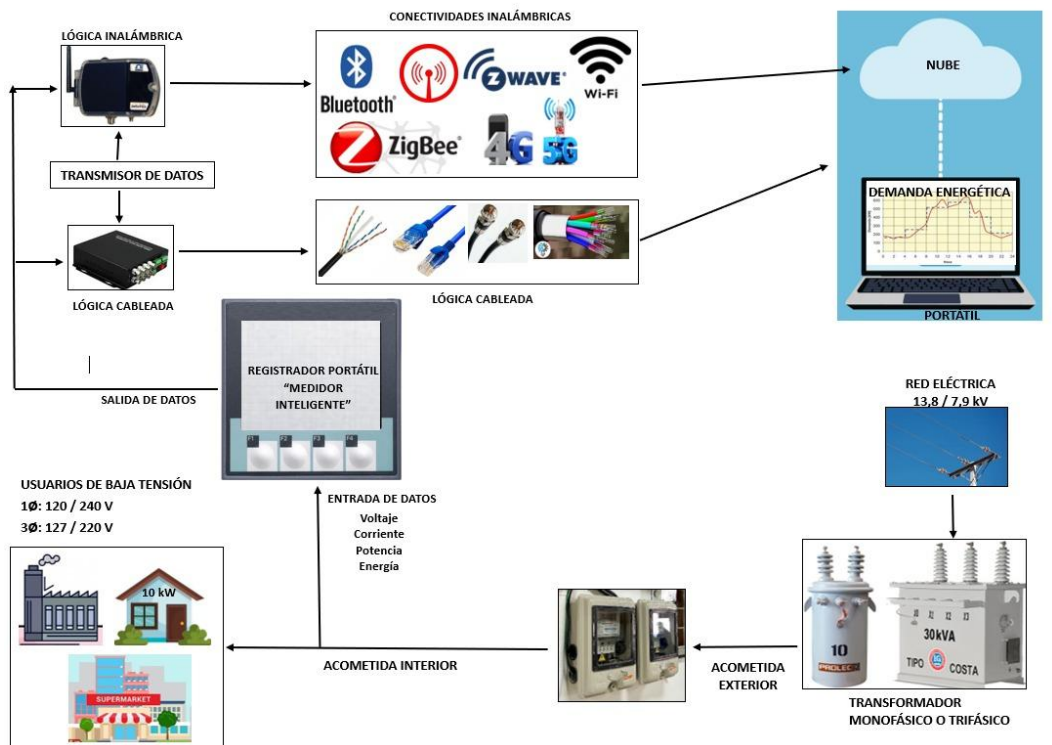


Figura 4.7 Esquema preliminar del registrador portátil

4.5. Selección de equipos

Es fundamental realizar una selección de los equipos e instrumentos necesarios para registrar los parámetros eléctricos y satisfacer las necesidades de un usuario en baja tensión. Primero se realiza una selección de un registrador portátil apropiado y, a partir de ello, seleccionar instrumentos compatibles que permitan el funcionamiento con dicho registrador.

4.5.1. Registrador de parámetros eléctricos

Según los requisitos detallados en el apartado 4.4, se han identificado tres equipos que cumplen con las especificaciones necesarias. El primer dispositivo es un medidor inteligente de la marca EKM, ampliamente utilizado para medir la demanda de energía eléctrica de diversos tipos de usuarios en baja tensión. El segundo equipo es un Arduino, que requiere el desarrollo de una programación específica para llevar a cabo el registro de los parámetros eléctricos. Por último, el Sentron PAC de la marca Siemens, aunque tiene un costo elevado en comparación con los otros dos, se presenta como una alternativa viable. En la tabla 4.12 se detallan diversas características de cada dispositivo para facilitar su evaluación y selección.

Tabla 4.12 Comparación de equipos de registro

| Característica | EKM | Arduino | Siemens Sentron PAC |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|
| Tipo de Medición | Parámetros eléctricos | Parámetros eléctricos | Parámetros eléctricos |
| Conectividad | Sí, envío a la nube | Depende de la configuración | Sí, a través de red |
| Software de Visualización | Sí, en computadora | Puede requerir desarrollo | Software dedicado |
| Precisión | Alta | Depende de la implementación | Muy alta |
| Costo | Medio | Bajo | Alto |

| | | | |
|---------------------------------|--------|--|------------------------------------|
| Facilidad de Instalación | Fácil | Requiere conocimientos de programación | Requiere instalación especializada |
| Escalabilidad | Buena | Buena | Muy buena |
| Fiabilidad | Alta | Sujeto a implementación | Muy alta |
| Compatibilidad | Amplia | Amplia | Específica |

La tabla comparativa proporciona las características de tres equipos de medición de parámetros eléctricos: el EKM, un sistema basado en Arduino y el analizador de redes Siemens Sentron PAC. Tras analizar las especificaciones de cada equipo, la selección del EKM se destaca como la opción más favorable. Este dispositivo ofrece una combinación de precisión, conectividad a la nube, facilidad de instalación, escalabilidad y fiabilidad, todo ello a un costo razonable. En la figura 4.8 se determina el equipo con su amplia compatibilidad y capacidad de visualización de datos en una computadora lo que le convierte en una elección ideal para la implementación de un registrador de parámetros eléctricos en un entorno de baja tensión.



Figura 4.8 Registrador de parámetros eléctricos EKM

El equipo puede medir sistemas que van desde monofásicos de 120 V a 2 hilos o monofásicos 120 V a 240 V a 3 hilos, 120 V a 480 voltios, o trifásicos a tres hilos de 120 V a 415 V o trifásicos 4 hilos de 120 V a 480 V a una frecuencia de 50/60 Hz, permitiendo obtener los datos eléctricos de usuarios a baja tensión. En la tabla 4.13 se determina el equipo que ha sido probado

y certificado por precisión por el Departamento de Pesas y Medidas del Estado de California con una precisión del 0,5.

Tabla 4.13 Características específicas del registrador EKM

| Característica | Descripción |
|-----------------------|---|
| Sistema | Monofásico: 2 y 3 hilos Trifásico: 3 y 4 hilos |
| Rangos de voltaje | 120 – 240 Vac 120 – 208 Vac 230 – 277 – 480 Vac |
| Corriente | Hasta 5000 A con TC externo |
| Comunicación | RS – 485 |
| Precisión | Clase 0,5 |
| Frecuencia | 50 – 60 Hz |

La estructura del registrador eléctrico EKM se puede observar en la tabla 4.14 y en la figura 4.9 su estructura determina por sus capacidades de comunicación de datos, las entradas y salidas de relé, la pantalla de visualización, los terminales para la conexión de transformadores de corriente, así como los bornes destinados a los voltímetros de las tres líneas y el neutro.

Tabla 4.14 Estructura del registrador EKM

| Numeración | Descripción |
|-------------------|---|
| 1 | Comunicación RS – 485 |
| 2 | Salidas de pulsos |
| 3 | Entradas de pulsos |
| 4 | Display |
| 5 | Bornera para transformadores de corriente |
| 6 | Bornera para voltímetros |

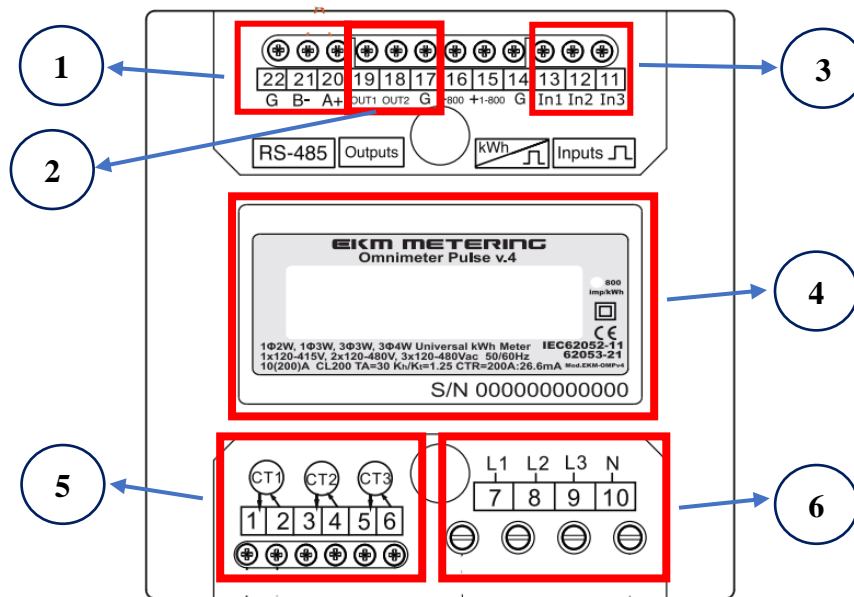


Figura 4.9 Estructura del registrador eléctrico EKM

4.5.2. Medición de corriente

Para realizar la medición de la corriente eléctrica es necesario contar con transformadores de corriente de medición, estos instrumentos se seleccionan en base a la corriente máxima de consumo de un usuario de baja tensión. De los tres usuarios residencial, comercial e industrial, este último es quien tiende a tener un consumo mayor para lo cual los TCs se dimensionarán para un usuario industrial que contenga un transformador de distribución trifásico de máximo 75 kVA.

La corriente eléctrica para esta potencia se determina de la siguiente manera:

$$I = \frac{S}{V} \quad (4.1)$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (4.2)$$

Donde:

- I: corriente eléctrica (A)
- S: Potencia aparente (kVA)
- V: voltaje (V)

$$I = \frac{75 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V}}$$

$$I = 196,8 \text{ A}$$

Mediante este cálculo de la corriente eléctrica se puede determinar que los transformadores de corriente sean de alrededor de 200 A como se muestra en la figura 4.10.



Figura 4.10 TC de núcleo dividido 200 A.

El uso de un Transformador de Corriente (TC) de núcleo dividido presenta ciertas ventajas como, permite una instalación sin interrupción del sistema eléctrico ya que puede colocarse alrededor de conductores sin necesidad de desconectar el cableado. Esta característica se muestra en la Tabla 4.15 donde nos brinda flexibilidad y conveniencia, especialmente en entornos donde detener la corriente no es una opción.

Tabla 4.15 Características del TC de núcleo dividido

| Característica | Descripción |
|-----------------------|--------------------|
| Tipo de TC | Núcleo dividido |
| Corriente máxima | 200 Amp |
| Diámetro del orificio | 25 mm |
| Calibre máximo | 400 MCM |
| Precisión | Clase 0,5 |

4.5.3. Medición de voltaje

El equipo cuenta con bornes específicos para la medición de voltaje en las líneas L1, L2, L3 y N, adaptándose a la utilización de sistemas monofásicos o trifásicos. La conexión recomendada por el equipo es directa, requiriendo que cada línea esté protegida individualmente por un fusible de 1 A. Para la medición de voltaje, se recomienda el uso de conductores eléctricos calibre 16 AWG multifilares.

4.5.4. Sistema de datos

Para el almacenamiento de datos en la nube, se elige un dispositivo compatible con el registrador de parámetros eléctricos, que tiene la capacidad de actuar como un receptor de datos. Este receptor está diseñado para requerir una conexión a internet que le permita cumplir con su función. A continuación, en la tabla 4.16 se detallan las características de este dispositivo receptor y se muestra de manera física en la figura 4.11

Tabla 4.16 Características del equipo receptor de datos

| Característica | Descripción |
|-------------------------|-------------------------|
| Tipo de conexión | Ethernet, RS-485 y Wifi |
| Almacenamiento de datos | Directo a la nube |
| Dimensiones | 107 x 51 x 90 mm |
| Alimentación | 9 – 24 VDC |
| Montaje | Riel Din |



Figura 4.11 Equipo receptor de datos

En la parte inferior del equipo se encuentran los bornes de conexión que incluyen: un puerto Ethernet, un puerto USB, una bornera para la comunicación RS-485, un puerto para tarjeta Micro SD, opciones de alimentación a través de conectores y borneras como se muestran en la figura 4.12. Para la alimentación, se puede utilizar exclusivamente uno de estos dos últimos métodos.

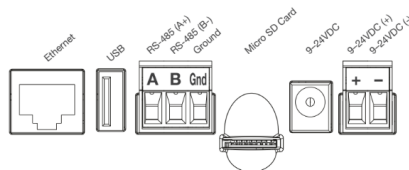


Figura 4.12 Puertos del equipo receptor de datos

4.5.5. Transmisión inalámbrica de datos

La transmisión de datos debe ser altamente confiable para garantizar que los datos de los parámetros eléctricos sean recibidos completa y precisamente por el receptor, sin fallos en la comunicación. Adicional es necesario requerir un alcance de comunicación adecuado, dado que el equipo registrador se va a conectar en el tablero de distribución del usuario de baja tensión y el receptor debe ir cerca al router/wifi.

Se valora también la velocidad de transmisión de datos suficiente, dado que los datos de los parámetros eléctricos, como voltaje, corriente, potencia no son voluminosos y, por lo tanto, una velocidad moderada es más que suficiente para cumplir con las necesidades de transmisión de información. En la tabla 4.17 se presenta una descripción comparativa para la transmisión inalámbrica de datos.

Tabla 4.17 Descripción comparativa en la transmisión de datos

| Característica | Zigbee | Wi-Fi | Bluetooth (BLE) | LoRaWAN |
|------------------------|---|---|-------------------------------------|---|
| Consumo de Energía | Muy bajo | Alto | Bajo | Muy bajo |
| Alcance Típico | 10 - 100 metros | 10 - 50 metros | 10 metros | 5 - 15 km |
| Velocidad de Datos | Baja (hasta 250 kbps) | Muy alta (Mbps - Gbps) | Media (hasta 2 Mbps) | Muy baja (kbps) |
| Topología de Red | Malla | Estrella | Punto a punto/Malla | Estrella |
| Número de Dispositivos | Hasta 65,000 | Limitado | 8 - 128 | Miles |
| Costo | Bajo | Moderado | Bajo | Moderado a alto |
| Utilidad frecuente | Redes de sensores, domótica, automatización industrial. | Streaming, transferencias de archivos grandes, acceso a Internet. | Conexión de dispositivos personales | Transmisión de datos a larga distancia en áreas rurales o extensas. |

Zigbee destaca como la elección adecuada para tener una comunicación inalámbrica entre el registrador portátil de parámetros eléctricos y el equipo de recepción por su robusta red en malla ya que permite que cada nodo pueda actuar como repetidor, asegurando que los datos sorteen obstáculos y lleguen al receptor de manera fiable, incluso si la señal directa se ve afectada. Además, aunque su velocidad de datos es menor que la de Wi-Fi, es perfectamente adecuada para transmitir los pequeños paquetes de información de los parámetros eléctricos, evitando el consumo excesivo de energía que implicaría el uso de una tecnología con un ancho de banda innecesariamente alto.

Por tales razones se selecciona este tipo de comunicación y a su vez unos dos módulos que van a estar conectados uno en el emisor de datos y otro en el rector de datos, permitiendo en si su comunicación inalámbrica, en la tabla 4.18 se puede observar sus características y en la figura 4.13 su forma física.

Tabla 4.18 Características del módulo Zigbee

| Característica | Descripción |
|---------------------------|--------------------|
| Modelo | 485Bee |
| Alcance | 200 metros |
| Comunicación | RS-485 |
| Alimentación | 6 – 24 VDC |
| Velocidad de comunicación | 9600 baudios |



Figura 4.13 Módulo Zigbee

4.5.6. Plataforma en la nube

La información recolectada sobre los parámetros eléctricos de un usuario de baja tensión necesita ser enviados hacia una plataforma en la nube para lo cual es importante conocer qué tipo de plataformas existen y cuál de ellas se adapta mejor a mi propuesta tecnológica, considerando funcionalidad, visualización de datos y costos. Esta comparación se realiza en la tabla 4.19.

Tabla 4.19 Comparaciones entre plataforma en la nube

| Característica / Plataforma | ThingsBoard | AWS IoT Core | Google Cloud IoT Core | Azure IoT Hub |
|------------------------------------|---|---|---|---|
| Costo Inicial | Gratuito | Pago por Uso | Pago por Uso | Pago por Uso |
| Escalabilidad | Alta | Muy Alta | Muy Alta | Muy Alta |
| Facilidad de Uso | Media-Alta | Media-Baja | Media-Baja | Media-Baja |
| Visualización de Datos | Excelente (Dashboards Potentes y Personalizables) | Baja (Requiere Integración con otros servicios) | Baja (Requiere Integración con otros servicios) | Baja (Requiere Integración con otros servicios) |
| Gestión de Dispositivos | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente |
| Integraciones | API REST, MQTT, HTTP. Integración con Bases de Datos, Notificaciones. | Amplias (con otros servicios AWS) | Amplias (con otros servicios GCP) | Amplias (con otros servicios Azure) |
| Comunidad / Soporte | Activa Comunidad, Documentación, Foros | Amplia Documentación, Soporte Pagado | Amplia Documentación, Soporte Pagado | Amplia Documentación, Soporte Pagado |

Mientras que AWS IoT Core, Google Cloud IoT Core y Azure IoT Hub son soluciones empresariales extremadamente potentes y escalables, su complejidad, costo y la vasta cantidad de servicios que ofrecen los hacen excesivos para el alcance y los objetivos de la propuesta tecnológica. Con la plataforma ThingsBoard, se obtendrá todas las funcionalidades esenciales para el registrador portátil como: ingestión de datos, visualización, reglas y gestión de dispositivos de una manera más accesible y económica.

4.6. Formas de conexión

El registrador de parámetros eléctricos portátil tiene la flexibilidad de instalar 1, 2 o 3 transformadores de corriente y voltímetros, dependiendo del tipo de sistema eléctrico a medir, ya sea monofásico o trifásico.

4.6.1. Conexión en usuarios monofásicos a 2 hilos

Para realizar la medición en un usuario que presenta un sistema monofásico a 2 hilos, es decir solamente tiene L1+ N se utiliza solamente un transformador de corriente que van conectados en el PIN 1 y 2 y para la medición del voltaje se utiliza el pin 7 que es L1 y el pin 10 siendo el neutro. La forma de conexión se presenta en la figura 4.14 y su descripción en conexión se presenta en la tabla 4.20.

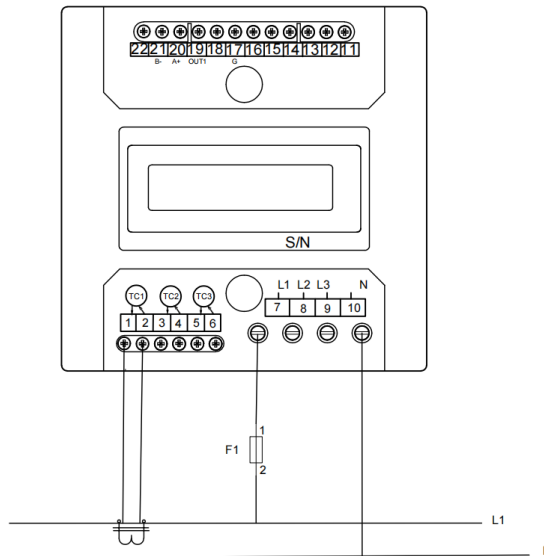


Figura 4.14 Conexión monofásica a dos hilos

Tabla 4.20 Descripción de la conexión monofásica a dos hilos

| | Monofásico a 2 hilos | Conexión de Pines en el equipo |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| N. Transformador de corriente | TC1 | Pin 1 y 2 |
| N. Voltímetro | L1 | Pin 7 |
| | N | Pin 10 |

4.6.2. Conexión en usuarios monofásicos a 3 hilos

Para llevar a cabo la medición en un usuario con un sistema monofásico de 3 hilos (L1, L2, N), se utilizan dos transformadores de corriente, uno para cada fase. El primer transformador se conecta en los pines 1 y 2, mientras que el segundo se conecta en los pines 3 y 4. Para la medición del voltaje, se emplea el pin 7 para L1, el pin 8 para L2 y el pin 10 para el neutro. La forma de conexión se presenta la figura 4.15 y su descripción en conexión se presenta en la tabla 4.21.

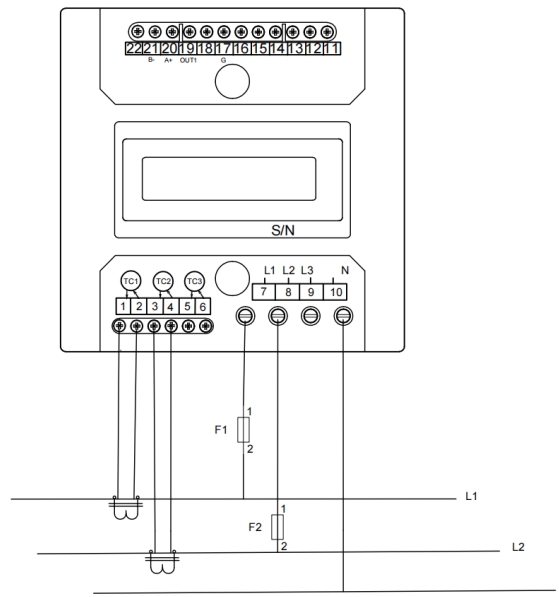


Figura 4.15 Conexión monofásica a tres hilos

Tabla 4.21 Descripción de la conexión monofásica a tres hilos

| | Monofásico a 3 hilos | Conexión de Pines en el equipo |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| N. Transformador de corriente | TC1 | Pin 1 y 2 |
| | TC2 | Pin 3 y 4 |
| N. Voltímetro | L1 | Pin 7 |
| | L2 | Pin 8 |
| | N | Pin 10 |

4.6.3. Conexión en usuarios trifásicos a 4 hilos

Para realizar la medición en un usuario con un sistema trifásico de 4 hilos (L1, L2, L3, N), se requieren tres transformadores de corriente, uno para cada fase. El primer transformador se conecta en los pines 1 y 2, el segundo en los pines 3 y 4, y el tercero en los pines 5 y 6. Para la medición del voltaje, se utilizan el pin 7 para L1, el pin 8 para L2, el pin 9 para L3 y el pin 10 para el neutro. La forma de conexión se detalla en la figura 4.16 y su descripción en conexión se presenta en la tabla 4.22.

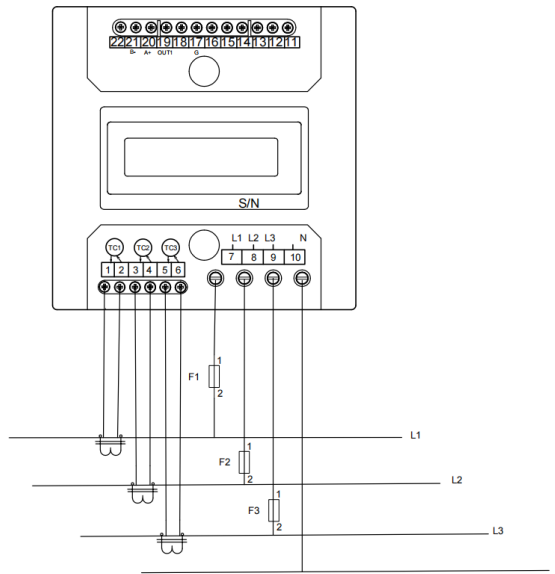


Figura 4.16 Conexión trifásica a cuatro hilos

Tabla 4.22 Descripción de la conexión trifásica a cuatro hilos

| | Monofásico a 3 hilos | Conexión de Pines en el equipo |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| N. Transformador de corriente | TC1 | Pin 1 y 2 |
| | TC2 | Pin 3 y 4 |
| | TC3 | Pin 5 y 6 |
| N. Voltímetro | L1 | Pin 7 |
| | L2 | Pin 8 |
| | L3 | Pin 9 |
| | N | Pin 10 |

4.6.4. Conexión del módulo ZigBee

La conexión del módulo Zigbee se realiza de la siguiente manera: se requiere un módulo para el equipo emisor de datos, que es el registrador de parámetros eléctricos, y otro para el receptor, que es el equipo receptor de datos. Por lo tanto, se utilizan dos módulos ZigBee para establecer una comunicación inalámbrica entre ambos equipos. La forma de conexión se muestra en la figura 4.17.

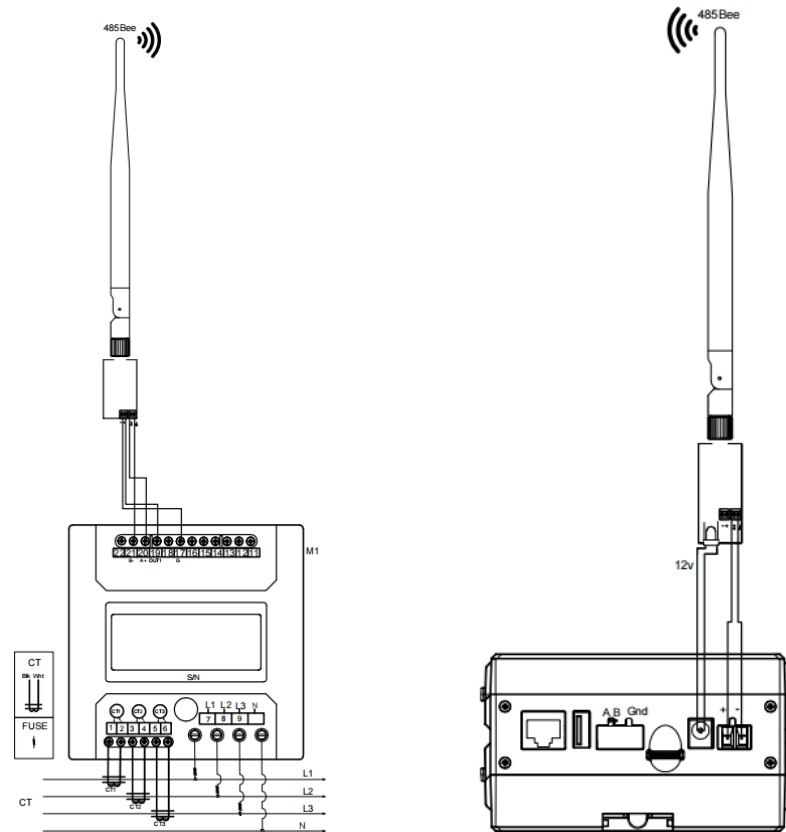


Figura 4.17 Conexión del módulo Zigbee al emisor y receptor

4.7. Distribución de los equipos

Para realizar la distribución de los equipos se dividirá en dos partes, la primera tiene lugar al registrador de parámetros eléctricos y sus elementos, mientras que la segunda está presente el receptor de datos igualmente con sus elementos. Cada parte muestra las diferentes conexiones internas a realizar y la selección de tablero eléctrico plástico con dimensiones de acuerdo a los elementos que se encuentren en su interior.



Figura 4.19 Tablero plástico para el registrador de parámetros eléctricos

4.7.2. Distribución del equipo receptor de datos

Dentro de la segunda parte, se planificó la distribución interna de los elementos como se observa en la figura 4.20 que conforman la recepción de datos provenientes del equipo medidor incluyendo el módulo de transmisión inalámbrica y el equipo de recepción, considerando sus dimensiones se optó por incorporar estos elementos en una caja plástica IP 65 con las siguientes dimensiones mostradas en la figura 4.21.

- Alto: 22 cm
- Ancho: 17 cm
- Profundidad: 12 cm

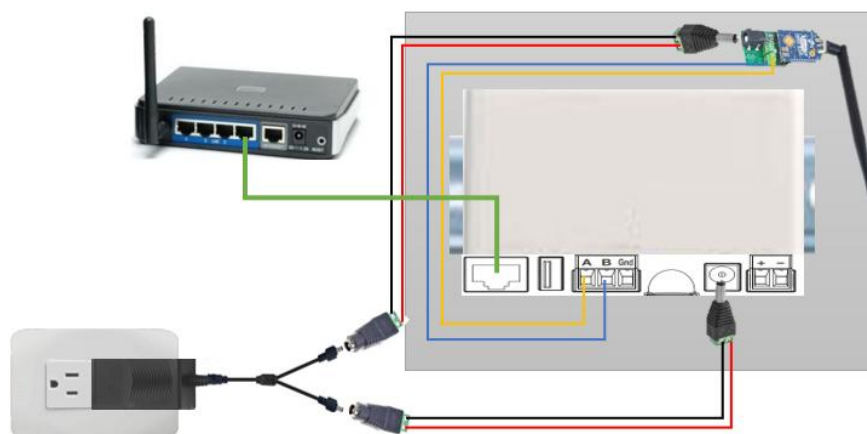


Figura 4.20 Distribución del receptor + módulo de transmisión inalámbrica



Figura 4.21 Dimensiones de la caja plástica para la recepción de datos

4.8. Validación de datos

Para asegurar la fiabilidad y precisión de los datos que proporciona el registrador de parámetros eléctricos, es importante que sea validado por equipos certificados, para lo cual, se empleará un analizador de redes eléctricas Fluke de la serie 1777 como se observa en la figura 4.22, el cual ha sido seleccionado por su reconocida precisión y por cumplir estrictamente con la norma IEC 61000-4-30 Clase A como se observa en la tabla 4.23. Esta clasificación garantiza que el Fluke 1777 ofrece el más alto nivel de exactitud en las mediciones de energía eléctrica.



Figura 4.22 Equipo patrón para la validación de datos.

- Clase A: Los equipos Clase A son la referencia para mediciones de alta precisión y se utilizan en escenarios donde la exactitud es crítica, como la verificación de cumplimiento de contratos de calidad de energía o la resolución de disputas.
- Clase S: La Clase S (Survey) es más flexible y se utiliza para monitoreo general o estudios. Los instrumentos Clase S son más económicos y más fáciles de usar, pero sus mediciones no son adecuadas para aplicaciones contractuales o de arbitraje donde la precisión es primordial.

Tabla 4.23 Descripción de la incertidumbre de medición según la norma IEC 61000-4-30

| Parámetro Medido | Unidad | Clase | Clase | Observación |
|------------------------------------|--------------|----------|----------|---|
| | | A | S | |
| Tensión RMS | % de nominal | ±0.1% | ±0.2% | Aplicable para tensión de fase a neutro o de fase a fase. |
| Frecuencia | Hz | ±0.01 Hz | ±0.02 Hz | Medida en un período de 10 segundos. |
| Magnitud de Tensión (10/12 ciclos) | % de nominal | ±0.2% | ±0.5% | Medición RMS de tensión sobre un ciclo completo (10 ciclos para 50Hz, 12 ciclos para 60Hz). |
| Factor de Potencia | Absoluto | ±0.01 | ±0.02 | La precisión depende de la precisión de las mediciones de tensión, corriente y ángulo de fase. |
| Potencia Activa (P) | % de lectura | ±0.2% | ±0.5% | A potencia nominal y factor de potencia unitario. La incertidumbre aumenta a menores cargas y factores de potencia. |
| Potencia Reactiva (Q) | % de lectura | ±0.5% | ±1% | Similar a la potencia activa, la incertidumbre puede variar con la carga y el factor de potencia. |

4.8.1. Porcentaje de error

Este parámetro permite validar la precisión de una medición o el rendimiento de un equipo en específico mediante la comparación con otro equipo de referencia.

$$\%E = \frac{\text{Valor medido} - \text{Valor de referencia}}{\text{Valor de referencia}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo presenta la implementación del equipo registrador de parámetros eléctricos, conjuntamente con su receptor de datos, en donde su funcionalidad se valida en instalar dentro de los usuarios de baja tensión, residencial, comercial o industrial. Cabe mencionar que este último tiene que estar dentro de los 75 kVA de potencia que se dimensionó para la selección de los transformadores de corriente.

5.1. Implementación de equipos dentro del tablero

Los equipos seleccionados tanto para el registrador de parámetros eléctricos, los módulos de transmisión inalámbrica y la recepción de datos se implementaron en sus respectivos tableros basada en la distribución que se planteó en los apartados 4.7.1 y 4.7.2.

5.1.1. Equipo registrador de parámetros eléctricos

La figura 5.1 muestra un tablero de control que contiene los equipos destinados para el registro de parámetros eléctricos. Claramente visible en el centro, se implementó el equipo principal que es el medidor de energía eléctrica, seguidamente de los fusibles de protección para las entradas de voltaje y en la parte superior el módulo Zigbee para la comunicación inalámbrica. En el anexo 1 se puede observar el desarrollo del equipo.

Alrededor de este registrador, se observan conexiones eléctricas con cables de varios colores (azul, rojo, blanco, negro) que se conectan a los conectores rápidos de la parte inferior, indicando la entrada de conexión de los transformadores de corriente y el voltaje.



Figura 5.1 Implementación del registrador de parámetros eléctricos en tablero

En la figura 5.2 de la izquierda, se aprecian conectores tipo banana de color negro, diseñados para una conexión directa y segura al módulo del registrador de parámetros eléctricos. Estos conectores suelen garantizar una unión firme y una buena transmisión de energía.

Por otro lado, la figura 5.2 de la derecha muestra el extremo de los cables equipado con conectores tipo "lagarto" o pinzas cocodrilo, de colores rojo y negro. Estos conectores sirven para la rápida y temporal conexión a los puntos de medición en el tablero de distribución de energía eléctrica del usuario de baja tensión.



Figura 5.2 Terminales de cable para conexión

5.1.2. Equipo receptor de datos

En la figura 5.3 en la parte central, se encuentra una carcasa blanca de forma rectangular, que alberga la electrónica principal del receptor. En la parte superior de esta carcasa blanca, se observa el módulo Zigbee encargado de recibir de forma inalámbrica los datos del registrador emisor. Además, se aprecian diversas conexiones como un conector RJ45 y un conector cilíndrico de alimentación, como se aprecia en la figura 5.4.



Figura 5.3 Implementación del equipo receptor de datos

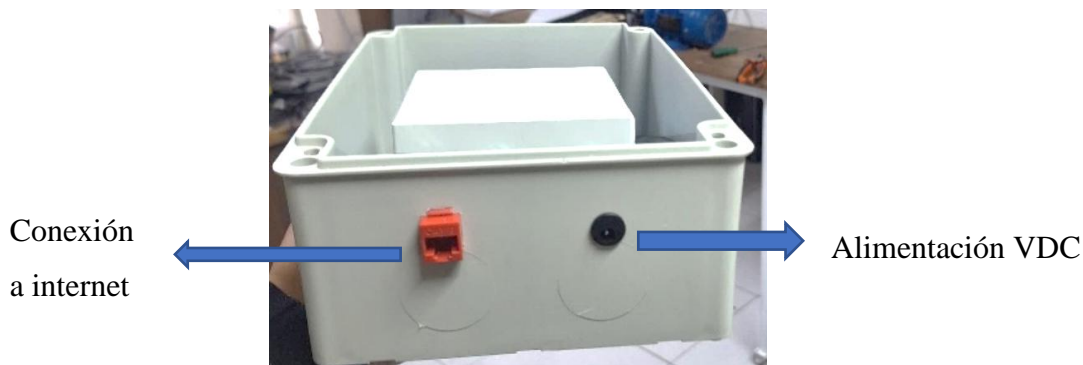


Figura 5.4 Terminales para conexión rápida

5.1.3. Programación para los módulos ZigBee

Para realizar la comunicación inalámbrica entre el equipo emisor y receptor, se realizó una programación para la transmisión de datos, en lo cual se tomó en consideración el uso y manejo de Python para su ejecución. El script de Python 3.12 está diseñado para la integración y adquisición de datos del medidor de parámetros eléctricos. Su objetivo principal es consultar datos de forma remota desde la plataforma en la nube mediante el uso de su API, y luego almacenar esta información en una base de datos o archivo local para una posterior visualización. La programación se puede observar en el anexo 3.

Tabla 5.1 Descripción de la programación para los módulos Zigbee

| ETAPA / FUNCIÓN | ACCIÓN PRINCIPAL |
|--------------------------------------|--|
| 1. Inicialización y Configuración | Prepara el entorno y define parámetros para la conexión a la API. |
| 2. Obtener Datos desde la Nube (API) | Intenta descargar los datos del medidor desde la API. |
| 3. Procesar Respuesta de la API | Evalúa si la descarga de datos fue exitosa. |
| 4. Guardar Datos Localmente | Almacena los datos obtenidos en un archivo JSON en el sistema local. |
| 5. Bucle Principal de Ejecución | Ejecuta el proceso de obtención y guardado de datos de forma periódica. |
| 6. Punto de Entrada del Script | Inicia la ejecución del programa cuando el script es ejecutado directamente. |

La tabla 5.1 muestra la lógica de programación que se utilizó para realizar la comunicación inalámbrica entre los módulos del medidor y equipo receptor de datos para visualizar estos datos una vez que ya están en la plataforma dentro de la nube.

5.2. Implementación en un usuario residencial

Como primera prueba, se desarrolló la instalación de los equipos en un usuario residencial situada en la ciudad de Latacunga específicamente en el conjunto Los Arupos ubicada por el sector de San Felipe. Se constató el tipo de usuario por la planilla de luz que proporciona la Empresa Eléctrica Cotopaxi en donde menciona “BT Residencial”. En el anexo 2 se puede observar a detalle su instalación.

Información del Consumidor

| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| CUENTA CONTRATO 200036545339 | Código Único Eléctrico | 0600136903 |
| Nombre cliente | CRUZ MORENO MARCIA SUSANA (CRUZ MORENO MARCIA SUSANA) | |
| Cédula | 0501270615 | Tipo de tarifa ARCENNER BTCRSD01 - BT Residencial |
| | Geocódigo | 0606M071000195 |
| Dirección del servicio | CALLE SIMON RODRIGUEZ / COOP. DE VIVIENDA FEDERACION DE BARRIOS / SAN BUENAVENTURA - LATACUNGA | |

Figura 5.5 Información de la planilla eléctrica del usuario residencial

Se identificó que el tipo de conexión dentro de la caja de distribución de energía eléctrica es monofásico a 2 hilos, es decir que solamente lleva una línea (de color **rojo**) y un neutro (de color **amarillo**) como se puede observar en la figura 5.6.

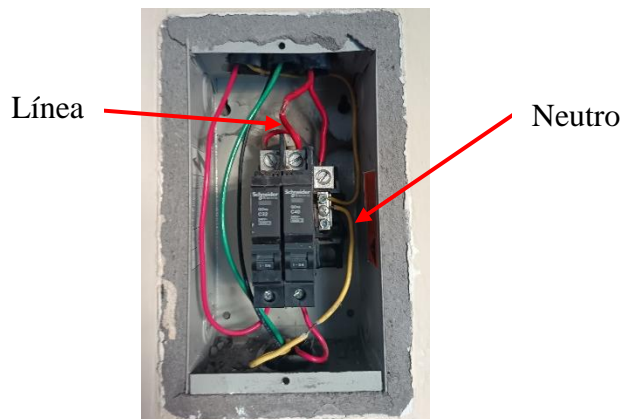


Figura 5.6 Tablero de distribución de energía eléctrica del usuario residencial

Para realizar la conexión de los transformadores de corriente se debe conocer en qué dirección está partiendo la corriente eléctrica porque el transformador tiene una dirección que debe ser respetada, es decir la corriente entra por el lado primario y sale por el lado secundario. Una

manera de darse cuenta es que en los TCs viene una flecha que debe apuntar hacia la carga y no hacia la fuente como se muestra en la figura 5.7.



Figura 5.7 Forma de instalación de Tcs

5.2.1. Conexión del equipo en usuario residencial

Se realizó la conexión de los equipos para obtener el registro de los parámetros eléctricos de la residencia, para lo cual se utilizó un conductor concéntrico 2x16 AWG para la conexión directa de Línea y Neutro y al conocer que es una conexión a dos hilos se utilizó solamente un transformador de corriente para la única Línea como se puede observar en la figura 5.8.



Figura 5.8 Conexión del registrador de parámetros eléctrico al usuario residencial

Por otra parte, para la conexión del receptor de datos fue colocado alado del router, en esta conexión se utilizó cable Ethernet para lograr una conectividad a Internet y que el equipo permita subir información enviada por el equipo medidor hacia la nube como se indica en la figura 5.9



Figura 5.9 Conexión del equipo receptor de datos al router

La instalación de los equipos se realizó el día 7 de julio del 2025, en donde estuvieron conectados y enviando información hacia la nube para un posterior análisis. Durante todo el día, se recopilaron diversos datos de interés eléctrico como: voltaje, corriente, potencia, frecuencia y demanda. Los datos obtenidos se pueden observar en el anexo 6.

Estos datos almacenados en la nube se pueden observar en el anexo 4, lo cuales fueron descargados en un archivo con extensión CSV en el cual fue necesario convertirlos en una extensión XLS para el manejo de la información mediante el software estadístico Excel y la generación de curvas para su posterior análisis como se presenta a continuación:

5.2.2. Análisis de los parámetros eléctricos del usuario residencial

En la gráfica de la figura 5.10 se tiene el primer parámetro eléctrico que es el voltaje, los valores se mantuvieron en un rango de 124 V a 130 V, con un promedio de los 126 V-127 V. La estabilidad está en un rango favorable para un entorno residencial, ya que nos asegura que los electrodomésticos y dispositivos operen bajo condiciones de voltaje adecuadas, minimizando el riesgo de daños o mal funcionamiento causados por fluctuaciones excesivas. Se logró observar también los 3 puntos más elevados y los 3 puntos con más caída.

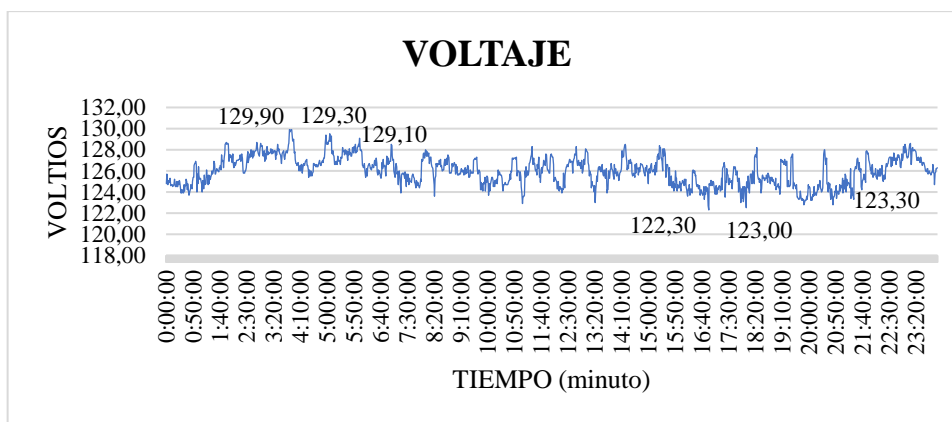


Figura 5.10 Gráfica del voltaje en función del tiempo

El gráfico de la figura 5.11 representa el comportamiento de la demanda de corriente a lo largo de un día completo. Se caracterizó por periodos extensos de consumo muy bajo, cercanos a 0 A, que representan el estado de reposo de la vivienda. Sin embargo, se observó picos y fluctuaciones abruptas y de corta duración, donde la corriente alcanzó valores de 5, 8 e incluso más de 10 A. Estos picos intermitentes mencionan el encendido y uso de electrodomésticos de mayor potencia que operan por periodos limitados y no de forma continua.

Se observó también los 3 puntos más elevados y los 3 puntos con más caída que presenta la corriente eléctrica.

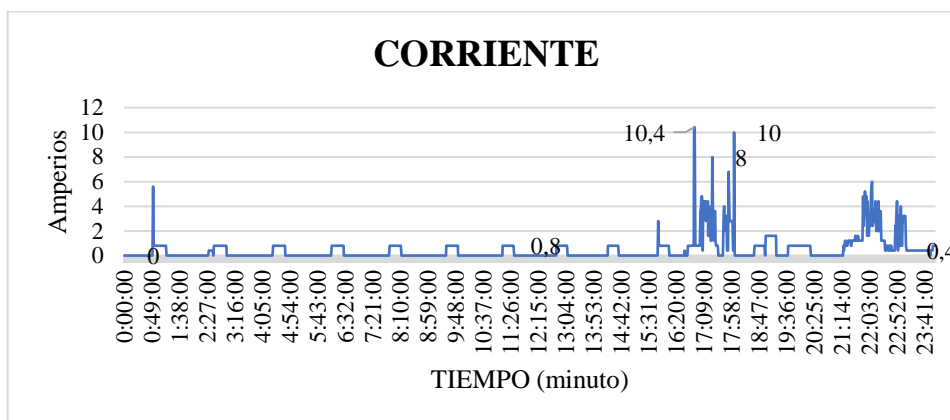


Figura 5.11 Gráfica de la corriente en función del tiempo

El gráfico de la figura 5.12 menciona la potencia instantánea del usuario residencial indicando que el perfil de consumo es dinámico y fluctuante a lo largo del tiempo, alcanzó picos de 1200 W que son muy comunes. El patrón que predominó es un consumo bajo, cercano a cero, varios de ellos superan los 600 W y alcanzan hasta los 1200 W -1300 W. Estos picos son indicativos del encendido y uso momentáneo de equipos o electrodomésticos de considerable potencia. Se obtuvo 3 puntos más elevados y los 3 puntos con más caída que presenta la potencia instantánea.

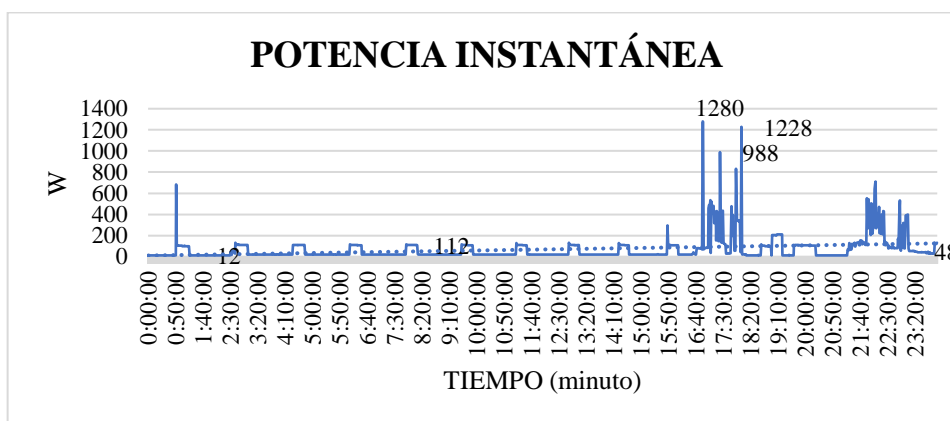


Figura 5.12 Gráfica de la potencia en función del tiempo

Analizando la gráfica de la frecuencia de la figura 5.13 se identificó que los valores se mantienen al nominal de 60 Hz, oscilando entre 59,95 Hz y 60,1 Hz, con un pico desfavorable de 59,85 Hz. Según la norma IEC 61000-4-30, para la clase S, el margen de error es de $\pm 0,02$ Hz. En base a la gráfica de manera visual muestra variaciones que superan los ± 0.1 Hz con respecto a 60 Hz.

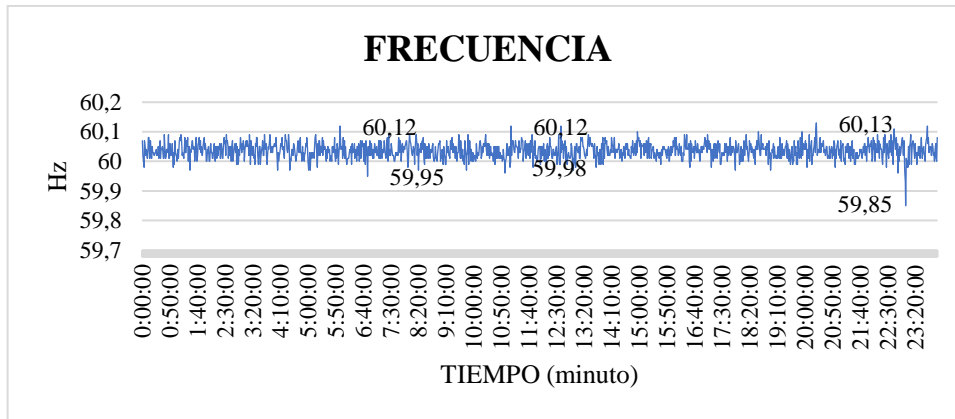


Figura 5.13 Gráfica de la frecuencia en función del tiempo

En la figura 5.14 se determinó un perfil escalonado que representó la evolución de la demanda de potencia a lo largo del día. A diferencia de la potencia instantánea, la demanda es un valor promedio de potencia activa durante un período de tiempo definido. La demanda se mantuvo en un nivel de 200 W, asumió una caída a valores entre 20 W y 40 W. A partir de este punto, la demanda aumento en incrementos definidos, elevándose a niveles de 100 W, 300 W hasta superar los 400 W.

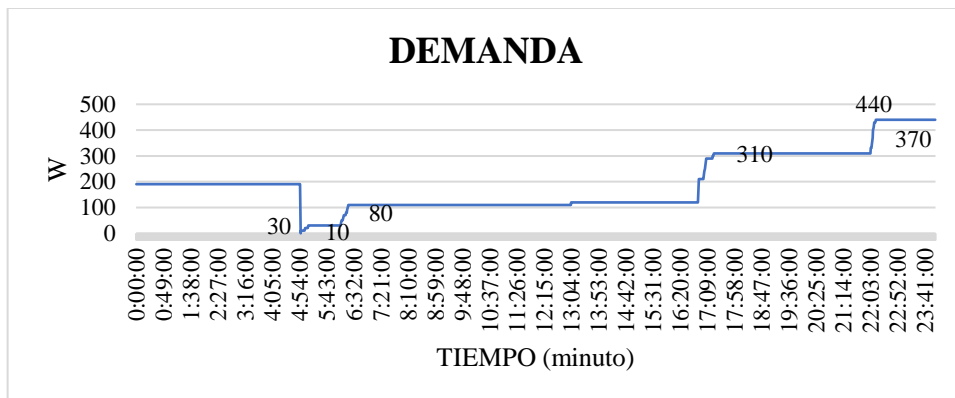


Figura 5.14 Gráfica de la demanda en función del tiempo

5.3. Implementación en un usuario comercial

La instalación de los equipos de monitoreo permaneció dentro de la ciudad de Latacunga, específicamente en un establecimiento comercial denominado "Deltatronic", situado en el sector del campus matriz de la UTC. La naturaleza comercial de este usuario fue confirmada mediante la revisión de la planilla de luz emitida por la Empresa Eléctrica Cotopaxi, la cual especifica la tarifa "BT Comercial".

Información del Consumidor

| | | | |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| CUENTA CONTRATO 200036373914 | Código Único Eléctrico | 0600029381 | |
| Nombre cliente Cédula | HERRERA YANEZ ELSA LEOPOLDINA (HERRERA YANEZ ELSA LEOPOLDINA) 0500960976 | Tipo de tarifa ARCENNER Geocódigo | BTCGSD01 - BT Comercial 0606M055000368 |
| Dirección del servicio | S RODRIGUEZ-EL EJIDO-ALFAR / 03/02/98 (LISLEC) / ELOY ALFARO (SAN FELIPE) - LATACUNGA | | |

Figura 5.15 Información de la planilla eléctrica del usuario comercial

En los tableros de distribución de energía eléctrica se observó que este usuario comercial presenta una red monofásica a 3 hilos, es decir 2 líneas y 1 neutro. Como se observa en la siguiente figura.

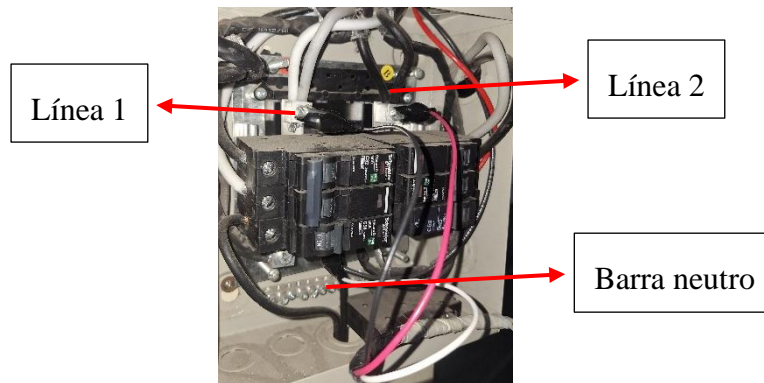


Figura 5.16 Tablero de distribución eléctrica del usuario comercial

5.3.1. Conexión del equipo en usuario comercial

Para este tipo de usuario se utilizó dos transformadores de corriente para realizar la medición en las dos líneas energizadas, como se muestra en la figura 5.17, mientras que para el voltaje se utilizó un conductor concéntrico 3x16 AWG para la conexión directa de L1, L2 y Neutro se puede observar en la figura 5.18.

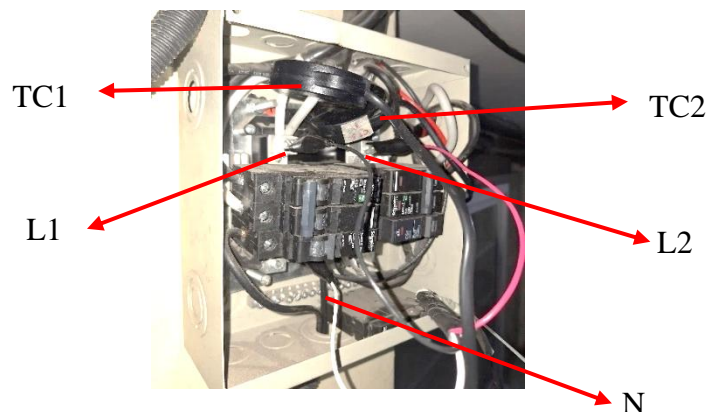


Figura 5.17 Conexión de los TCs al usuario comercial

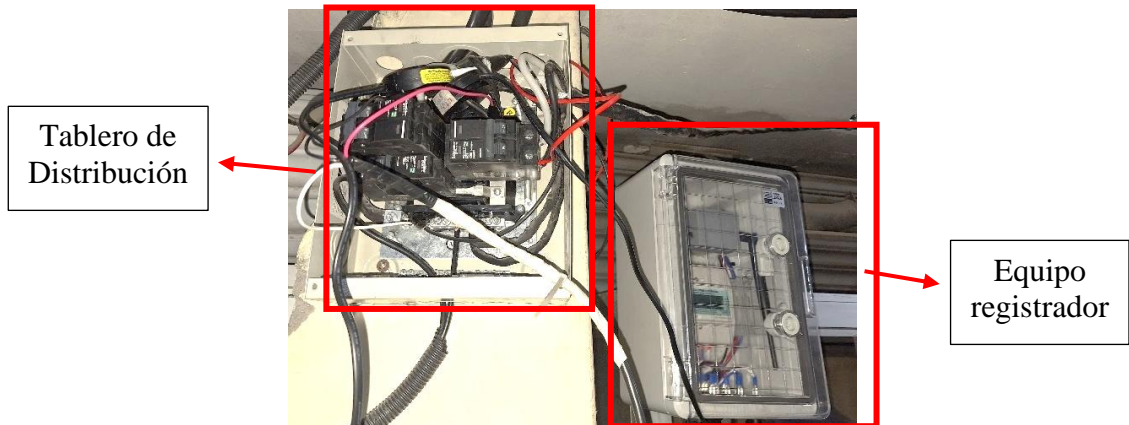


Figura 5.18 Implementación del equipo registrador en un usuario comercial

El receptor de datos fue conectado en el punto de ethernet del router del local para enviar los datos recibidos hacia la nube.

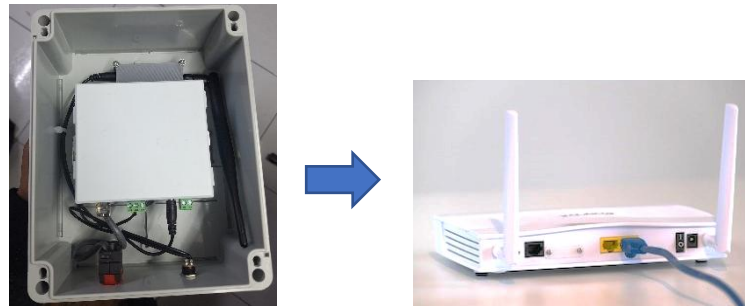


Figura 5.19 Conexión del equipo receptor de datos al router

Estos equipos fueron instalados el día 14 de julio del 2025, en donde estuvieron conectados y enviando información hacia la nube mediante internet. Los datos fueron obtenidos en un periodo entre las 7 pm y 8 pm recopilando diversos datos de interés eléctrico como: voltaje, corriente, potencia, frecuencia y demanda. Estos datos se pueden observar en el anexo 7.

5.3.2. Análisis de los parámetros eléctricos del usuario comercial

En la gráfica de la figura 5.20 se observa el comportamiento de dos mediciones de voltaje que se registraron en el local comercial. Durante el período de una hora, ambos voltajes indicaron cierta variabilidad, aunque se conservó dentro de un rango operativo común para sistemas de bajo voltaje, el voltaje 1 tuvo un nivel ligeramente superior al Voltaje 2 durante la mayor parte del intervalo, mientras que el Voltaje 2 presentó una caída inicial más pronunciada esto debido a ser provocado por las variaciones de la demanda de carga eléctrica en el local o en la red de suministro durante esas horas de la noche.

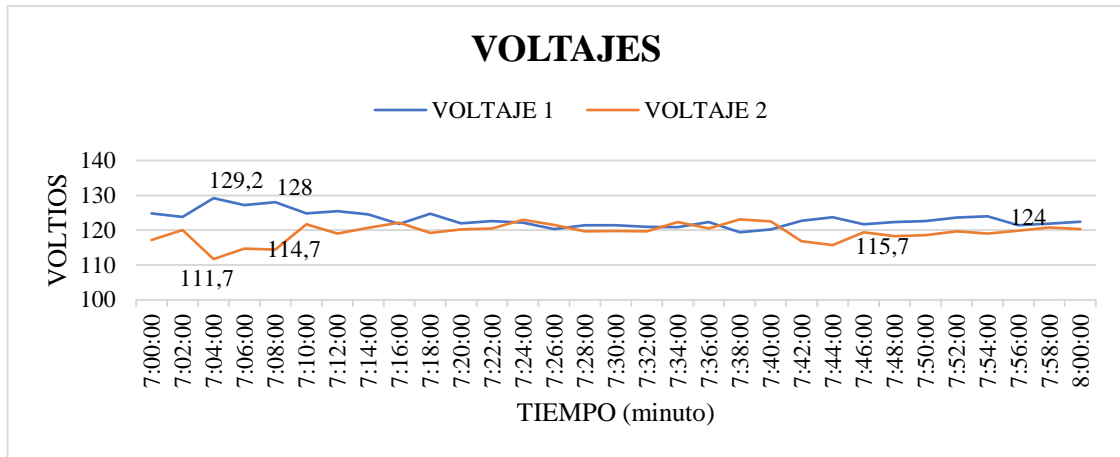


Figura 5.20 Gráfica del voltaje en función del tiempo

Los datos presentados en la gráfica de la figura 5.21 corresponden a las mediciones de corriente del usuario comercial en donde se determinó que existe una gran diferencia entre las dos corrientes eléctricas. La primera corresponde a la línea azul que presentó un consumo elevado entre 20 A – 25 A en el primer cuarto de hora, para luego ser estabilizada a lo largo del periodo 3 A – 7 A. Por otra parte, la Corriente 2 representada con la línea naranja indicó un consumo nulo, se observó que la mayoría de las cargas eléctricas que se utilizan están conectadas a la Línea 1, mientras que el resto de cargas que no tienen mayor cantidad de uso frecuente en la corriente 2.

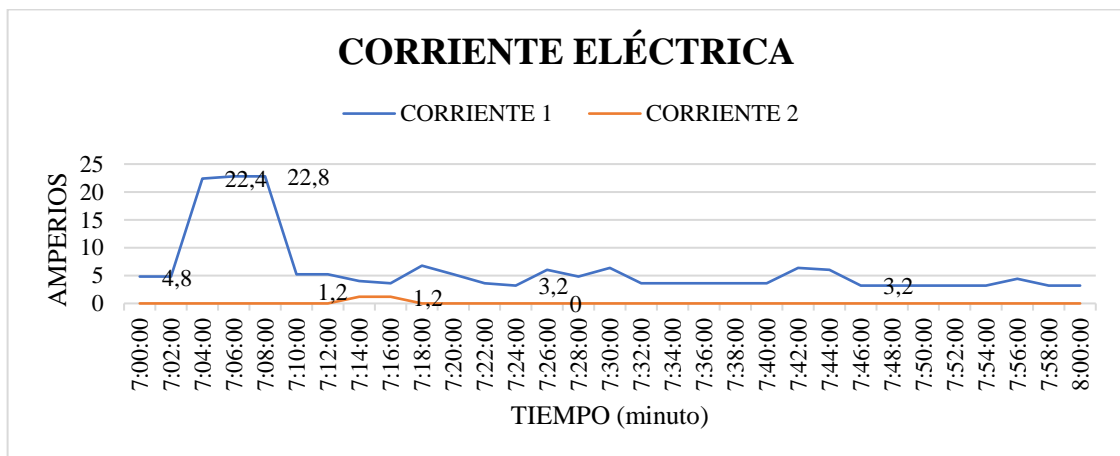


Figura 5.21 Gráfica de la corriente en función del tiempo

Siendo la potencia eléctrica un producto entre los parámetros del voltaje y la corriente, se indica en la figura 5.22 la gráfica de la potencia que determina cada una de las líneas, esto presentó unas curvas similares a las curvas de las corrientes, con un pico de potencia que fue de los 1200 W – 1250 W de potencia en la primera línea para seguir una continuidad a lo largo del periodo

de valores comprendidos entre 100 W y 300 W. La potencia de la otra línea es nula, aunque presentó un pico corto de 80 W.

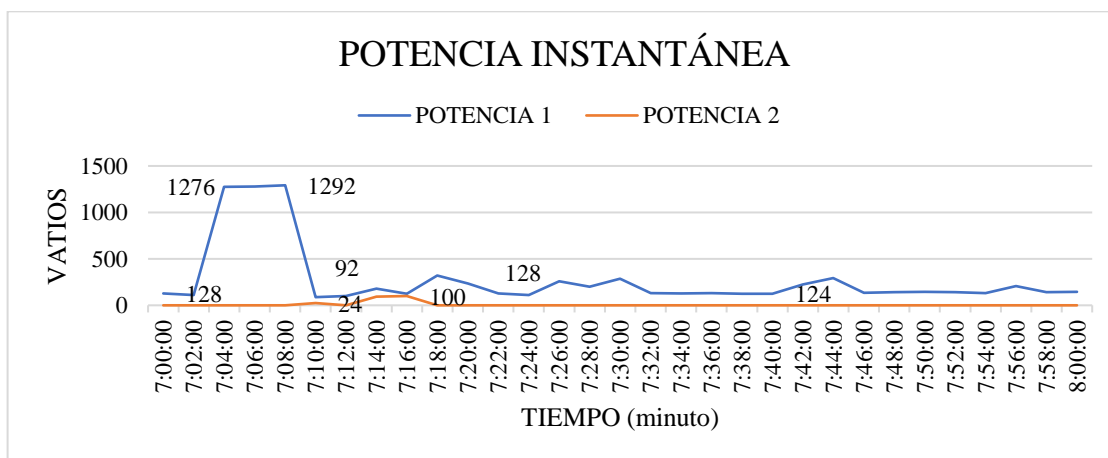


Figura 5.22 Gráfica de la potencia en función del tiempo

En la gráfica de la figura 5.23 se presenta la variación de la frecuencia a lo largo del periodo comprendido de 7 pm a 8 pm, indicando que se obtuvo un rango de variaciones alcanzados entre 59,98 Hz – 60,8 Hz. Según la normativa antes mencionada estos valores cumplen con lo solicitado dentro de la clase “S”.

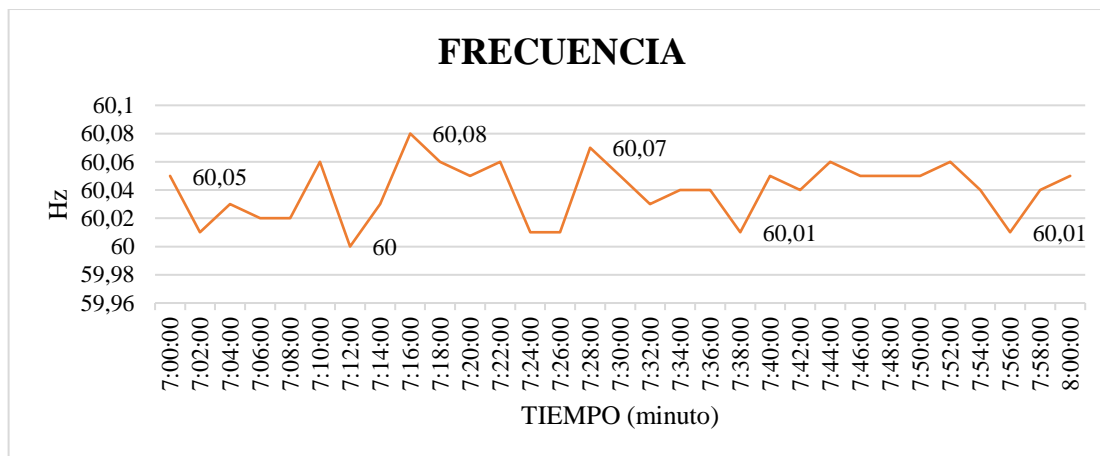


Figura 5.23 Gráfica de la frecuencia en función del tiempo

La figura 5.24 menciona la gráfica de la demanda eléctrica que presentó el local comercial en un horario de 7 pm a 8 pm, esto indicó su mayor parte que la demanda que alcanzó los 700 W, sin embargo, se pudo notar que desciende este parámetro hasta valores comprendidos entre 50 W – 70 W.

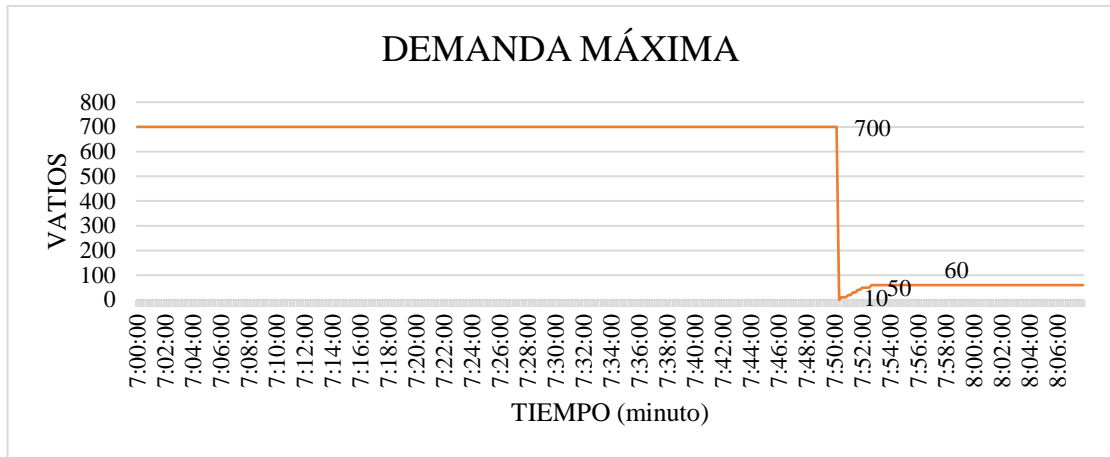


Figura 5.24 Gráfica de la demanda en función del tiempo

5.4. Validación del equipo

Para conocer la confiabilidad de los datos obtenidos de cada uno de los parámetros se realizó una comparación con los datos obtenidos de un medidor patrón. Esta comparación se puede observar en el anexo 5. En esta ocasión se utilizó un analizador de redes de la marca Fluke modelo 1777, este equipo es validado bajo la normativa IEC 61000-4-30 Clase A. Estos equipos se conectaron el día 22 de julio del 2025 en la bodega de la terraza del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la cual se pudo observar diferentes valores como voltaje, corriente, potencia y frecuencia. Los datos de comparación se pueden observar en el anexo 8.



Figura 5.25 Comparación de datos

5.4.1. Comparación de voltaje

Los datos recopilados durante la hora de medición del voltaje se ven graficados en la figura 5.26 en donde se observó dos gráficas, una correspondiente a la del voltaje medido mediante el uso del medidor y la otra gráfica comprende los valores del analizador de redes fluke. El eje de las ordenadas presentó un rango entre 126,6 V y de 127,6 V es decir 1 V. El valor medio del

medidor fue de 127,13 V y del analizador de redes fluke fue de 127,19 V teniendo un margen de error de 0,1% en voltaje.

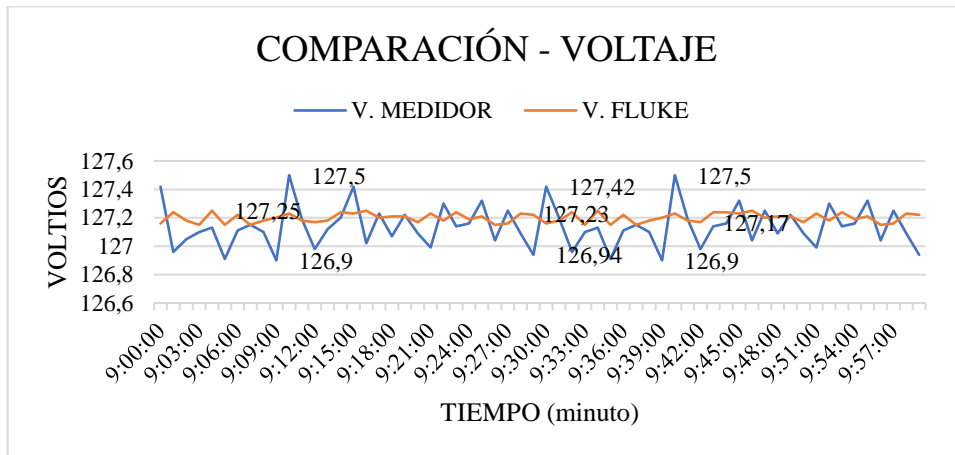


Figura 5.26 Comparación de datos “voltaje”

5.4.2. Comparación de corriente

La gráfica de la figura 5.27 muestra la comparación del consumo de la corriente eléctrica, indicando un rango grande en el eje de las ordenadas de 0 a 15 A, esto indicó variaciones ligeras que dentro de la gráfica no se las pudo distinguir. El valor medio del medidor fue de 8,17 A y del analizador de redes fluke es de 8,15 A. Se obtuvo un margen de error de 0,12% en corriente.

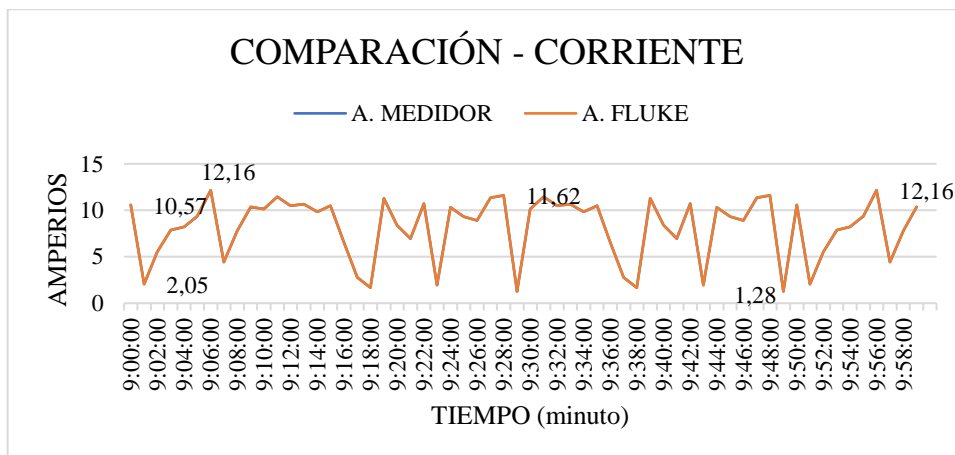


Figura 5.27 Comparación de datos “corriente”

5.4.3. Comparación de potencia

La figura 5.28 presenta las gráficas de la potencia eléctrica, se logró evidenciar que el consumo de los equipos eléctricos no permanecieron constantes porque presentaron constantes altos de 1400 W, mientras que los picos inferiores fueron de 200 W y nuevamente no se observó con

detalle estos valores de diferencia en potencia. El valor medio del medidor fue de 983,53 W y del analizador de redes fluke fue de 983,5 W, se obtuvo un margen de error de 0,1% en potencia.

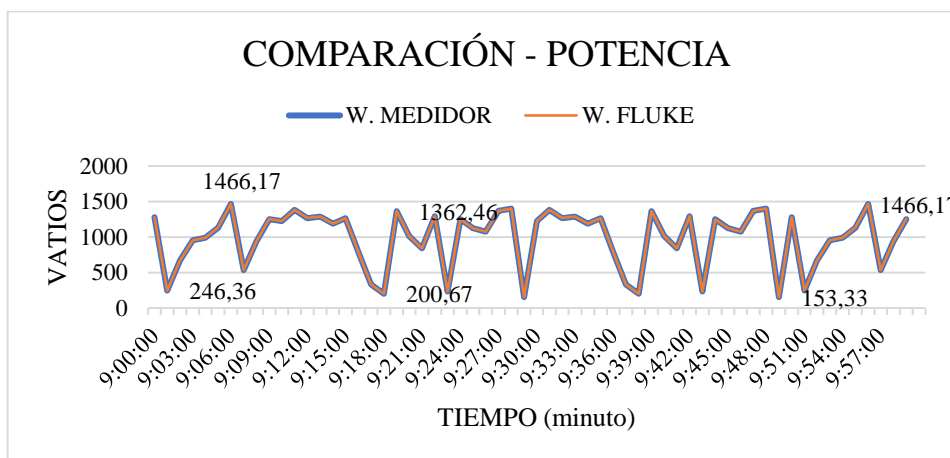


Figura 5.28 Comparación de datos “potencia”

5.4.4. Comparación de frecuencia

Los datos recopilados durante la hora de medición para la frecuencia se ven graficados en la figura 5.29. El eje de las ordenadas presentó un rango entre 59,8 Hz – 60,1 Hz. El valor medio del medidor fue de 59,86 Hz y del analizador de redes fluke fue de 59,99 Hz teniendo un margen de error de 0,065%

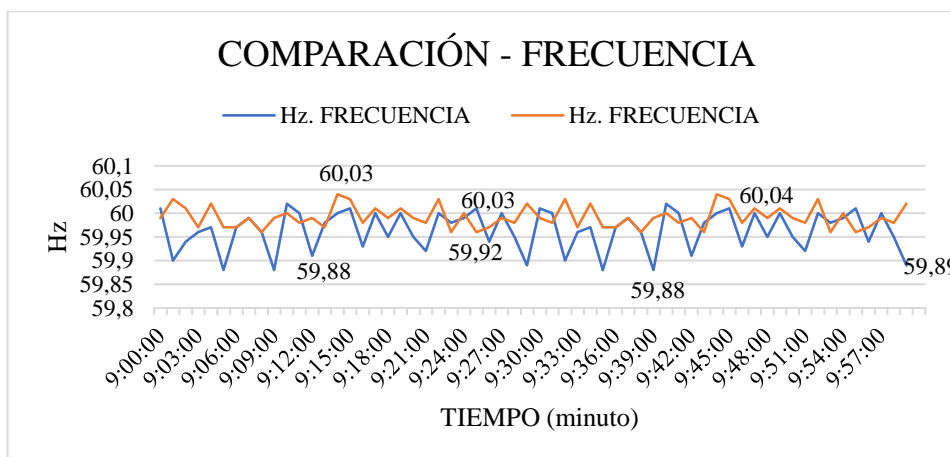


Figura 5.29 Comparación de datos “frecuencia”

5.5. Presupuesto

En la tabla 5.2 se tiene un listado de los materiales con su descripción que se utilizó para la ejecución de la propuesta tecnológica.

Tabla 5.2 Detalle del presupuesto

| UNIDAD | DESCRIPCIÓN | COSTOS/UNID | COSTO/TOTAL |
|---------------|--|--------------------|--------------------|
| 2 | Módulo de comunicación Wireless RS-485 | 150 | 300 |
| 1 | Medidor inteligente EKM | 285 | 285 |
| 3 | Trasformadores de corriente 200A | 74 | 222 |
| 1 | Fuente de alimentación 12V | 10 | 10 |
| 1 | Tarjeta de adquisición de datos | 290 | 290 |
| 1 | Adaptadores de 12V | 10 | 10 |
| 2 | Cajas IP65 | 28 | 56 |
| 4 | Portafusibles, (1A) | 3 | 12 |
| TOTAL | | | 1,185 |

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se clasificaron los usuarios de baja tensión a través de las empresas distribuidoras CNEL EP en tres principales categorías: residenciales, comerciales y pequeños industriales. Esta identificación permitió comprender que cada grupo presenta distintos patrones de consumo, lo cual fue fundamental para orientar la implementación del registrador y el análisis de cada parámetro eléctrico.
- Se establecieron especificaciones técnicas del registrador portátil en función de las necesidades reales de los usuarios de baja tensión, para ello nos basamos en la normativa de regulación ARCONEL 008/24-005/24, como capacidad de medición de parámetros eléctricos principales como voltaje, corriente, potencia, demanda y frecuencia, criterios de portabilidad, almacenamiento de la información, y facilidad de instalación en cada usuario de baja tensión.
- El medidor tiene dos equipos que se interconectan entre sí por medio de un módulo zigbee de comunicación inalámbrica basado en una programación en Python, uno de los equipos es el registrador que fue conectado en el tablero de distribución de energía eléctrica del usuario de baja tensión en donde físicamente se conectan los conductores eléctricos para el voltaje y los TCs de 200 A que fue seleccionado para un usuario industrial que presente una capacidad máxima de 75 kVA, el otro equipo de recepción se conectó al router cercano que presente el usuario de baja tensión para almacenar estos datos en la nube.
- Se realizó la instalación del medidor en dos tipos de usuarios, uno residencial y otro comercial, en el cual se analizaron los datos provenientes del medidor construyéndose las diferentes gráficas por medio de un software estadístico, adicional se realizó una validación de información utilizando como instrumento patrón un analizador de redes de la marca Fluke modelo 1777 que cumple con la normativa IEC 61000-4-30 Clase A obteniendo un margen de error de 0,1% para el voltaje, 0,12% para la corriente, 0,1 para la potencia y 0,065% para la frecuencia.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda indagar más en usuarios de baja tensión ya que existen casos como los usuarios residenciales que tienen un equipo a dos fases y un neutro y solo trabajan a una fase y un neutro.
- Se recomienda desarrollar y mejorar un sistema de comunicación que tenga más estabilidad en zonas de difícil accesibilidad como a servicios de Ethernet ya que invitando pérdidas de señal se garantizaría la medición, monitoreo de datos, que mejora la precisión y facilita el análisis de demanda energética.

7. REFERENCIAS

- [1] Agencia Internacional de Energía, «9ª Conferencia Mundial Anual sobre Eficiencia Energética,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/events/9th-annual-global-conference-on-energy-efficiency>.
- [2] EEQ, «EMPRESA ELÉCTRICA QUITO FIRMA CONTRATO PARA ADQUIRIR MEDIDORES INTELIGENTES,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.eeq.com.ec/w/empresa-electrica-quito-firma-contrato-para-adquirir-medidores-inteligentes>.
- [3] Y. Barrientos, J. Hernández y L. León, «MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN BAJA TENSIÓN CON ARDUINO PARA USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/15563/22172>.
- [4] L. Marreno, D. Carrizo, L. García y F. Ulloa , «Uso de algoritmo K-means para clasificar perfiles de clientes con datos de medidores inteligentes de consumo eléctrico: Un caso de estudio,» 2021. [En línea]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052021000400778&script=sci_arttext.
- [5] F. Parra y L. Anaguano, «MEDIDOR INTELIGENTE DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMA MONOFÁSICO BIFILAR, CON TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS A UNA CENTRAL PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO,» 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2201>.
- [6] J. Guamán y A. Pesántes, «Registrador local de parámetros eléctricos para determinar el comportamiento de la demanda residencial en la ciudad de Cuenca,» 2019. [En línea]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/373/356>.
- [7] D. Samaniego y F. Velesaca, «Diseño e implementación de un medidor de energía electrónico para vivienda con orientación a la prevención de consumo y ahorro


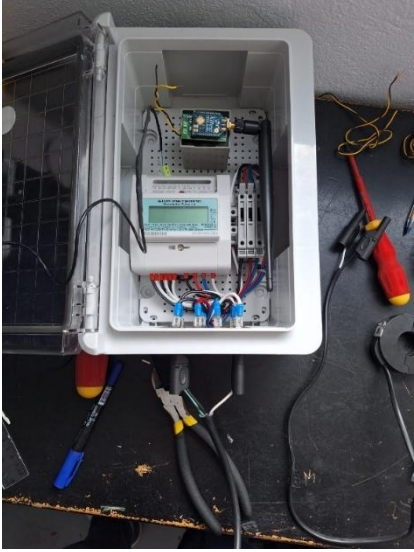


energético,» 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12893/1/UPS-CT006717.pdf>.

- [8] J. Andrade y J. Chávez, «Diagnóstico energético para obtención de las curvas de demanda de los bloques A y B del Campus Matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi.,» 2021. [En línea]. Available: <https://catalogo.utc.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18596>.
- [9] H. Bastidas, «Modelo de cálculo de los parámetros técnicos de las líneas eléctricas de baja tensión subterráneas e instalaciones internas para uso en telecomunicaciones,» 01 diciembre 2011. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092011000300013&script=sci_arttext.
- [10] J. Armijos y A. Pesantez, «Diseño de un medidor inteligente con funciones de respuesta a la demanda en infraestructuras de medición avanzada,» 13 marzo 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/2127076d-2b42-4fbb-ad2b-43c1e2485ad9>.
- [11] V. Manqueros, «Implementación de un Sistema Remoto de Monitoreo y Registro de la Demanda y Consumo Eléctrico en Tiempo Real para un Sistema de Baja Tensión,» 15 enero 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Victor-Manqueros-Aviles/publication/333058358_Revista_Ciencia_Ingenieria_y_Desarrollo_Tec_Lerdo_Implementacion_de_un_Sistema_Remoto_de_Monitoreo_y_Registro_de_la_Demanda_y_Consumo_Electrico_en_Tiempo_Real_para_un_Siste.
- [12] A. Marcelli, «Bidirectional Metering Advancements and Applications to Demand Response Resource Management,» 10 marzo 2014. [En línea]. Available: https://tesidottorato.depositolegale.it/handle/20.500.14242/141964?utm_source.
- [13] J. Vadillo, «Medición de la respuesta de la demanda a la señal de precios a través de soluciones de redes inteligentes,» 31 enero 2020. [En línea]. Available: https://tesidottorato.depositolegale.it/handle/20.500.14242/141964?utm_source=chatgpt.com&mode=full.

- [14] Y. Barrientos, «Monitoreo de Parámetros Eléctricos en Baja Tensión con Arduino para uso Eficiente de Energía Eléctrica,» 20 enero 2025. [En línea]. Available: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/15563/22172>.
- [15] D. Pitts, «Design of a Field-Portable Low Power Personal Data Logger - A Hardware Perspective,» 04 junio 2008. [En línea]. Available: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/server/api/core/bitstreams/c734dbe4-8596-45f8-93b4-991bb98fb2c9/content>.
- [16] C. Lopez, «Diseño e implementación de un prototipo de medición de consumo eléctrico inalámbrico para artículos del hogar monitoreado mediante una página web,» 12 abril 2018. [En línea]. Available: https://dspace.udla.edu.ec/jspui/handle/33000/8978?utm_source=.
- [17] J. Estrella, «Implementación de un sistema de medición inteligente en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca,» 11 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15128>.
- [18] M. Chmbo , «Demanda energética en el sector industrial del Ecuador y su fomento a la generación de energías alternativas,» 07 julio 2025. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/fe57eb32-e874-4576-9c0d-c5c704e9fccc>.

8. ANEXOS

ANEXO 1: Desarrollo del equipo para el registro de datos de parámetros eléctricos.

| | |
|--|---|
|  <p>Tablero del equipo receptor</p> |  <p>Tablero del equipo emisor de señal</p> |
|  <p>Implementación de los elementos en los tableros</p> |  <p>Equipo emisor colocado sobre el doble fondo del tablero</p> |

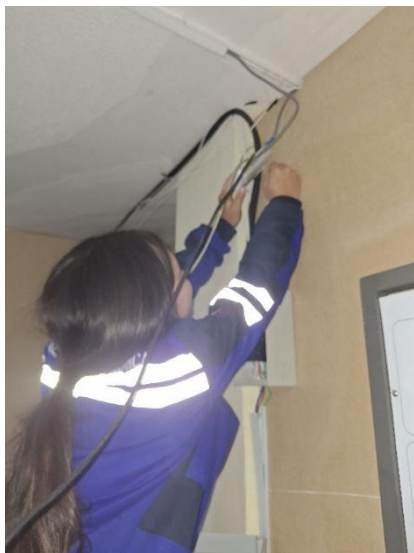
ANEXO 2: Instalación del equipo en un usuario de baja tensión.



Instalación del equipo receptor en el router del usuario residencial



Instalación del equipo emisor de datos en el router del usuario residencial



Instalación del equipo receptor el router del usuario comercial

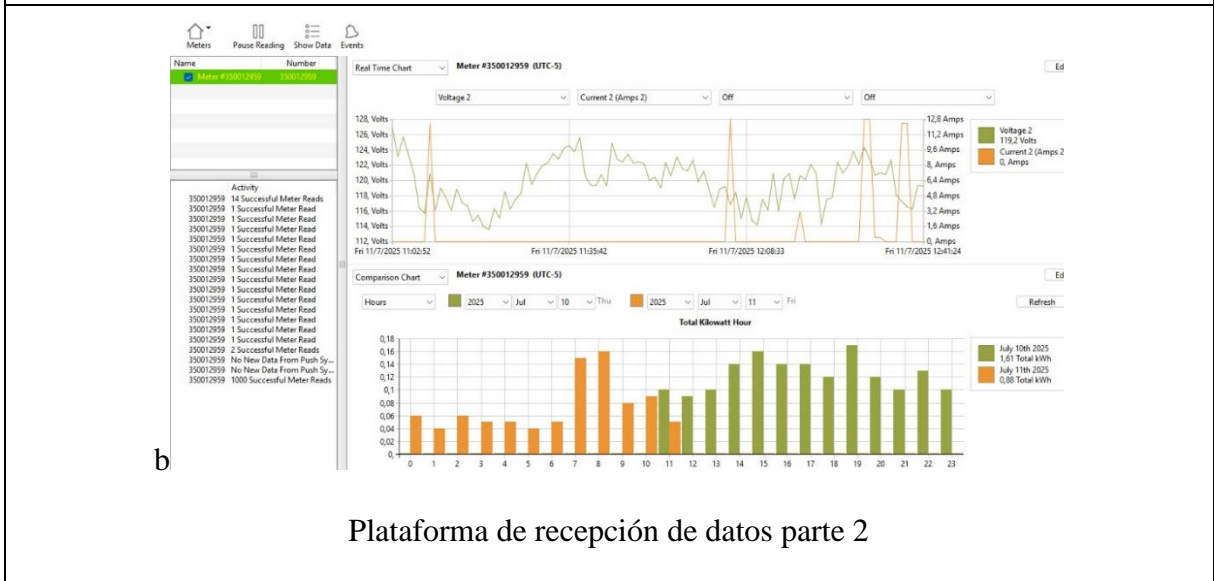
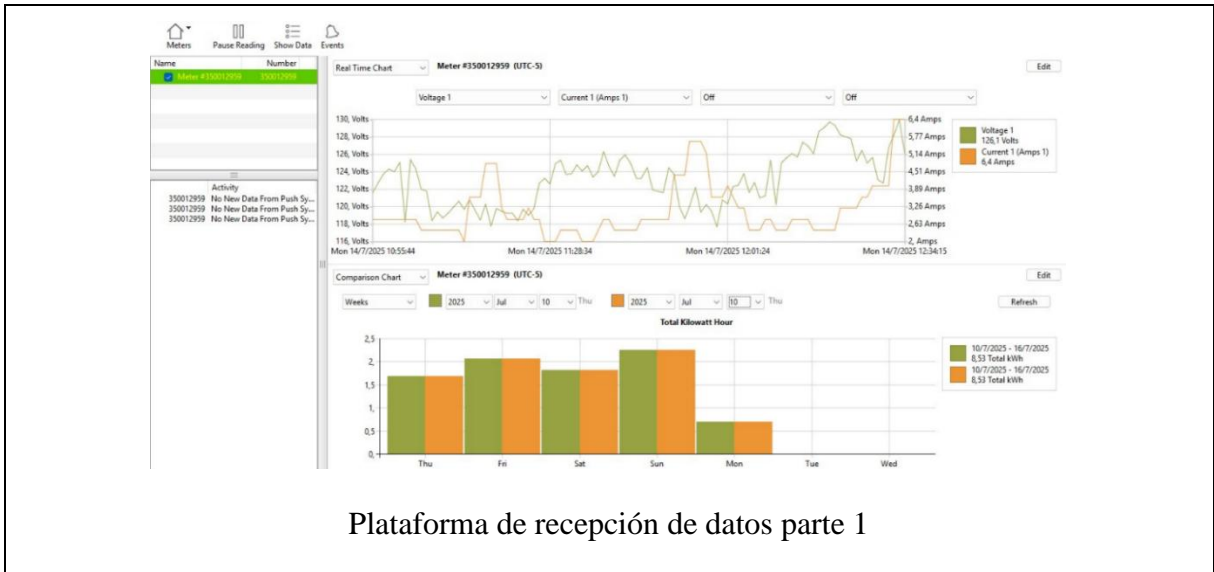


Instalación del equipo emisor en el tablero de distribución del usuario comercial

ANEXO 3: Código de programación en Python

```
1  """
2  Script de configuración simulada para integración de medidor EKM Omnimeter Pulse v.4
3  con el sistema de registro EKM Dash mediante la API de EKM Push.
4
5  Este script consulta datos desde la nube EKM Push y los guarda en una base local para visualización.
6  """
7
8  import requests
9  import json
10 import time
11
12 # CONFIGURACIÓN INICIAL (Simulada)
13 PUSH_API_KEY = "tu_push_key_aqui"
14 METER_ID = "tu_id_de_medidor"
15 API_URL = f"https://io.ekmpush.com/read?key={PUSH_API_KEY}&meters={METER_ID}&format=json"
16
17 # Ruta donde EKM Dash guardaría Los datos
18 RUTA_BASE_LOCAL = "datos_ekm_dash_local.json"
19
20 def obtener_datos_desde_push():
21     """
22     Función para obtener datos del medidor desde EKM Push API
23     """
24     try:
25         respuesta = requests.get(API_URL)
26         if respuesta.status_code == 200:
27             datos = respuesta.json()
28             return datos
29         else:
30             print(f"Error al consultar API: {respuesta.status_code}")
31             return None
32     except Exception as e:
33         print(f"Error de conexión: {str(e)}")
34         return None
35
36 def guardar_datos_localmente(datos):
37     """
38     Simula guardar los datos en un archivo local que EKM Dash usaría.
39     """
40     with open(RUTA_BASE_LOCAL, 'w') as archivo:
41         json.dump(datos, archivo, indent=4)
42     print("Datos guardados localmente para visualización en Dash.")
43
44 def main():
45     """
46     Bucle principal para consultar y registrar datos cada 60 segundos
47     """
48     while True:
49         datos = obtener_datos_desde_push()
50         if datos:
51             guardar_datos_localmente(datos)
52             time.sleep(60) # Espera 60 segundos entre Lecturas
53
54 if __name__ == "__main__":
55     print("Iniciando sistema de adquisición EKM Push → Dash...")
56     main()
57
```

ANEXO 4: Plataforma en la nube, obtención de datos de los parámetros eléctricos

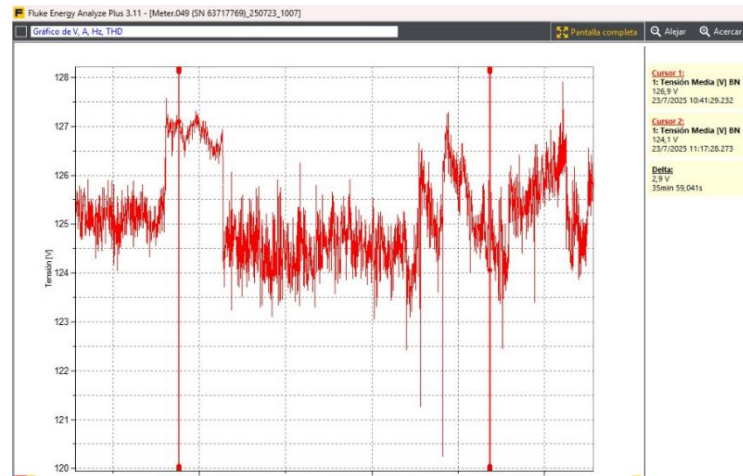


Plataforma de recepción de datos parte 3

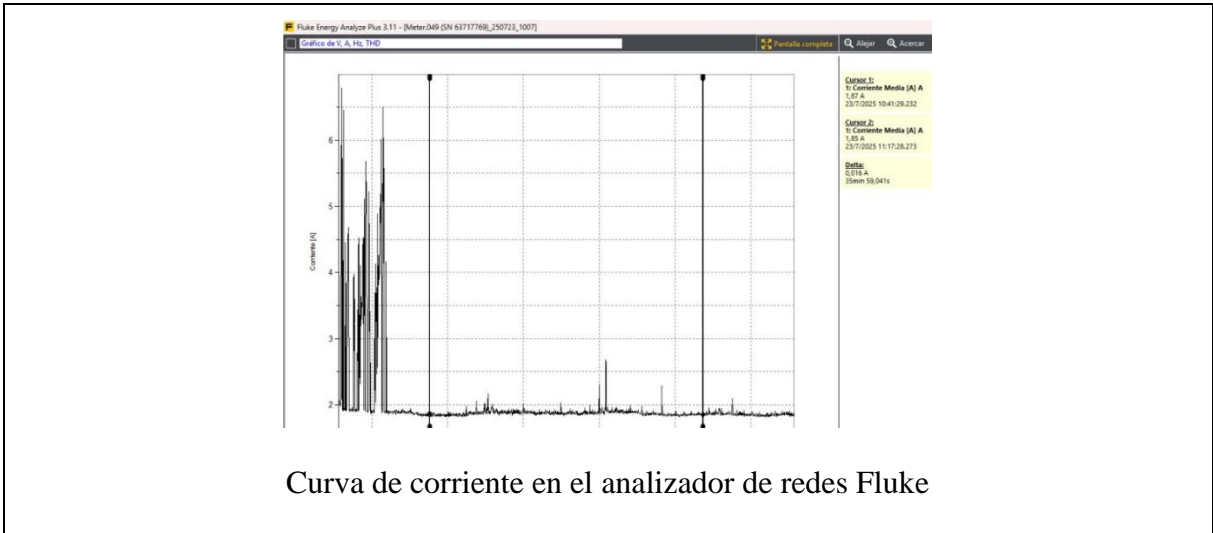
ANEXO 5: Curvas del analizador de redes Fluke.



Curva de frecuencia en el analizador de redes Fluke



Curva de voltaje en el analizador de redes Fluke



Curva de corriente en el analizador de redes Fluke



Medición de parámetros eléctricos con equipos Fluke



Medición de parámetros eléctricos con el equipo emisor



Medición de parámetros eléctricos con equipos Fluke

ANEXO 6: Extracto de los datos obtenidos del usuario residencial.

| Corriente | Voltaje | Potencia | Demanda | Frecuencia | Tiempo |
|-----------|---------|----------|---------|------------|---------|
| 0 | 124,8 | 12 | 190 | 60,07 | 0:00:00 |
| 0 | 125,7 | 12 | 190 | 60,02 | 0:01:00 |
| 0 | 125 | 12 | 190 | 60 | 0:02:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 59,98 | 0:03:00 |
| 0 | 125,1 | 12 | 190 | 60,07 | 0:04:00 |
| 0 | 124,9 | 12 | 190 | 60,05 | 0:05:00 |
| 0 | 125 | 12 | 190 | 60,02 | 0:06:00 |
| 0 | 125,3 | 12 | 190 | 60,04 | 0:07:00 |
| 0 | 124,6 | 12 | 190 | 60,03 | 0:08:00 |
| 0 | 124,6 | 12 | 190 | 60,01 | 0:09:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 60,04 | 0:10:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 60,08 | 0:11:00 |
| 0 | 124,5 | 12 | 190 | 60,08 | 0:12:00 |
| 0 | 124,6 | 12 | 190 | 60,01 | 0:13:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 60,07 | 0:14:00 |
| 0 | 125,2 | 12 | 190 | 60,07 | 0:15:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 60,01 | 0:16:00 |
| 0 | 124,5 | 12 | 190 | 60,01 | 0:17:00 |
| 0 | 124,5 | 12 | 190 | 60,05 | 0:18:00 |
| 0 | 125 | 12 | 190 | 60,03 | 0:19:00 |
| 0 | 124,5 | 12 | 190 | 60,03 | 0:20:00 |

| | | | | | |
|-----|-------|-----|-----|-------|---------|
| 0 | 124,5 | 12 | 190 | 60,02 | 0:21:00 |
| 0 | 125 | 12 | 190 | 60,02 | 0:22:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 60,03 | 0:23:00 |
| 0 | 125,1 | 12 | 190 | 60,03 | 0:24:00 |
| 0 | 125 | 12 | 190 | 60,04 | 0:25:00 |
| 0 | 124,5 | 12 | 190 | 60,02 | 0:26:00 |
| 0 | 123,9 | 12 | 190 | 60,03 | 0:27:00 |
| 0 | 124,2 | 12 | 190 | 60,02 | 0:28:00 |
| 0 | 123,9 | 12 | 190 | 60,05 | 0:29:00 |
| 0 | 124,2 | 12 | 190 | 60,01 | 0:30:00 |
| 0 | 124,2 | 12 | 190 | 60,04 | 0:31:00 |
| 0 | 123,9 | 12 | 190 | 60,07 | 0:32:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 60,01 | 0:33:00 |
| 0 | 124,1 | 12 | 190 | 60,04 | 0:34:00 |
| 0 | 124,6 | 12 | 190 | 60,04 | 0:35:00 |
| 0 | 124,6 | 12 | 190 | 60,05 | 0:36:00 |
| 0 | 125,2 | 12 | 190 | 60,04 | 0:37:00 |
| 0 | 125 | 12 | 190 | 60,01 | 0:38:00 |
| 0 | 124,2 | 12 | 190 | 60,01 | 0:39:00 |
| 0 | 124,8 | 12 | 190 | 60,09 | 0:40:00 |
| 0 | 124,2 | 12 | 190 | 60,04 | 0:41:00 |
| 0 | 123,7 | 12 | 190 | 60,01 | 0:42:00 |
| 0 | 123,8 | 12 | 190 | 60,02 | 0:43:00 |
| 0 | 124,1 | 12 | 190 | 60,04 | 0:44:00 |
| 0 | 124,3 | 12 | 190 | 60,04 | 0:45:00 |
| 0 | 124,7 | 12 | 190 | 60,03 | 0:46:00 |
| 0 | 124,4 | 12 | 190 | 60,09 | 0:47:00 |
| 0 | 124,3 | 12 | 190 | 60,01 | 0:48:00 |
| 0 | 125 | 12 | 190 | 60,01 | 0:49:00 |
| 0 | 125,4 | 12 | 190 | 60,06 | 0:50:00 |
| 5,6 | 125,4 | 684 | 190 | 60,03 | 0:51:00 |
| 0,8 | 126,5 | 104 | 190 | 60,02 | 0:52:00 |
| 0,8 | 126,7 | 108 | 190 | 60,03 | 0:53:00 |
| 0,8 | 126,8 | 104 | 190 | 60,06 | 0:54:00 |
| 0,8 | 126,9 | 108 | 190 | 60,02 | 0:55:00 |
| 0,8 | 126,6 | 104 | 190 | 59,98 | 0:56:00 |
| 0,8 | 124 | 104 | 190 | 60,03 | 0:57:00 |
| 0,8 | 125,7 | 104 | 190 | 59,99 | 0:58:00 |
| 0,8 | 124,8 | 104 | 190 | 60,07 | 0:59:00 |

El resto de datos se puede encontrar en el siguiente link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1TbAKR4o_wIzJtAbuiixMXaI7w6euM4ML/edit?usp=sharing&ouid=102030579363236963627&rtpof=true&sd=true

ANEXO 7: Datos obtenidos del usuario comercial.

| CORRIENTE 1 | CORRIENTE 2 | VOLTAJE1 | VOLTAJE2 | POTENCIA | POTENCIA2 | DEMANDA | FRECUENCIA | TIEMPO |
|-------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|---------|------------|---------|
| 4,8 | 0 | 124,8 | 117,2 | 128 | 0 | 700 | 60,05 | 7:00:00 |
| 4,8 | 0 | 123,8 | 120 | 112 | 0 | 700 | 60,01 | 7:02:00 |
| 22,4 | 0 | 129,2 | 111,7 | 1276 | 0 | 700 | 60,03 | 7:04:00 |
| 22,8 | 0 | 127,2 | 114,7 | 1280 | 0 | 700 | 60,02 | 7:06:00 |
| 22,8 | 0 | 128 | 114,4 | 1292 | 0 | 700 | 60,02 | 7:08:00 |
| 5,2 | 0 | 124,8 | 121,7 | 88 | 24 | 700 | 60,06 | 7:10:00 |
| 5,2 | 0 | 125,5 | 119 | 100 | 0 | 700 | 60 | 7:12:00 |
| 4 | 1,2 | 124,5 | 120,7 | 180 | 92 | 700 | 60,03 | 7:14:00 |
| 3,6 | 1,2 | 121,8 | 122,2 | 124 | 100 | 700 | 60,08 | 7:16:00 |
| 6,8 | 0 | 124,7 | 119,2 | 320 | 0 | 700 | 60,06 | 7:18:00 |
| 5,2 | 0 | 122 | 120,2 | 236 | 0 | 700 | 60,05 | 7:20:00 |
| 3,6 | 0 | 122,6 | 120,5 | 128 | 0 | 700 | 60,06 | 7:22:00 |
| 3,2 | 0 | 122,2 | 123 | 112 | 0 | 700 | 60,01 | 7:24:00 |
| 6 | 0 | 120,3 | 121,5 | 260 | 0 | 700 | 60,01 | 7:26:00 |
| 4,8 | 0 | 121,4 | 119,7 | 200 | 0 | 700 | 60,07 | 7:28:00 |
| 6,4 | 0 | 121,4 | 119,8 | 288 | 0 | 700 | 60,05 | 7:30:00 |
| 3,6 | 0 | 121 | 119,7 | 132 | 0 | 700 | 60,03 | 7:32:00 |
| 3,6 | 0 | 120,9 | 122,3 | 128 | 0 | 700 | 60,04 | 7:34:00 |
| 3,6 | 0 | 122,3 | 120,5 | 132 | 0 | 700 | 60,04 | 7:36:00 |
| 3,6 | 0 | 119,4 | 123,1 | 124 | 0 | 700 | 60,01 | 7:38:00 |
| 3,6 | 0 | 120,2 | 122,5 | 124 | 0 | 700 | 60,05 | 7:40:00 |
| 6,4 | 0 | 122,7 | 116,8 | 224 | 0 | 700 | 60,04 | 7:42:00 |
| 6 | 0 | 123,7 | 115,7 | 292 | 0 | 700 | 60,06 | 7:44:00 |

| | | | | | | | | |
|-----|---|-------|-------|-----|---|-----|-------|---------|
| 3,2 | 0 | 121,7 | 119,4 | 136 | 0 | 700 | 60,05 | 7:46:00 |
| 3,2 | 0 | 122,3 | 118,3 | 140 | 0 | 700 | 60,05 | 7:48:00 |
| 3,2 | 0 | 122,6 | 118,6 | 144 | 0 | 10 | 60,05 | 7:50:00 |
| 3,2 | 0 | 123,6 | 119,7 | 140 | 0 | 50 | 60,06 | 7:52:00 |
| 3,2 | 0 | 124 | 119 | 132 | 0 | 50 | 60,04 | 7:54:00 |
| 4,4 | 0 | 121,4 | 119,9 | 208 | 0 | 60 | 60,01 | 7:56:00 |
| 3,2 | 0 | 121,9 | 120,8 | 140 | 0 | 60 | 60,04 | 7:58:00 |
| 3,2 | 0 | 122,4 | 120,3 | 144 | 0 | 60 | 60,05 | 8:00:00 |

Los valores señalados por el color amarillo son valores máximos y los valores señalados por el color verde son valores mínimos.

ANEXO 8: Datos obtenidos para el desarrollo de la validación.

| Tiempo | Voltaje (V) Equipo | Voltaje (V) - Fluke 1777 | Error Voltaje (%) | Corriente (A) Equipo | Corriente (A) - Fluke 1777 | Error Corriente (%) | Potencia (W) Equipo | Potencia (W) - Fluke 1777 | Error Potencia (%) | Frecuencia (Hz) Equipo | Frecuencia (Hz) - Fluke 1777 | Error Frecuencia (%) |
|---------|--------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|----------------------|
| 9:00:00 | 127,42 | 127,16 | 0,2 | 10,59 | 10,57 | 0,18 | 1279,79 | 1277,58 | 0,17 | 60,01 | 59,99 | 0,03 |
| 9:01:00 | 126,96 | 127,24 | 0,22 | 2,04 | 2,05 | 0,19 | 245,89 | 246,36 | 0,19 | 59,9 | 60,03 | 0,22 |
| 9:02:00 | 127,05 | 127,18 | 0,1 | 5,53 | 5,54 | 0,11 | 667,63 | 668,32 | 0,1 | 59,94 | 60,01 | 0,12 |
| 9:03:00 | 127,1 | 127,15 | 0,04 | 7,89 | 7,89 | 0 | 951,97 | 952,28 | 0,03 | 59,96 | 59,97 | 0,02 |
| 9:04:00 | 127,13 | 127,25 | 0,1 | 8,21 | 8,21 | 0 | 989,26 | 989,27 | 0 | 59,97 | 60,02 | 0,08 |
| 9:05:00 | 126,91 | 127,15 | 0,19 | 9,35 | 9,38 | 0,27 | 1130,34 | 1132,86 | 0,22 | 59,88 | 59,97 | 0,15 |
| 9:06:00 | 127,11 | 127,22 | 0,09 | 12,16 | 12,16 | 0 | 1466,02 | 1466,17 | 0,01 | 59,97 | 59,97 | 0 |
| 9:07:00 | 127,15 | 127,15 | 0 | 4,42 | 4,42 | 0 | 533,2 | 533,15 | 0 | 59,99 | 59,99 | 0 |
| 9:08:00 | 127,1 | 127,18 | 0,06 | 7,79 | 7,79 | 0 | 939,02 | 939,12 | 0,02 | 59,96 | 59,96 | 0 |
| 9:09:00 | 126,9 | 127,2 | 0,24 | 10,35 | 10,38 | 0,29 | 1250,78 | 1253,76 | 0,24 | 59,88 | 59,99 | 0,18 |
| 9:10:00 | 127,5 | 127,23 | 0,21 | 10,15 | 10,13 | 0,24 | 1224,23 | 1221,75 | 0,2 | 60,02 | 60 | 0,03 |
| 9:11:00 | 127,19 | 127,18 | 0,01 | 11,45 | 11,44 | 0,08 | 1381,04 | 1380,05 | 0,07 | 60 | 59,98 | 0,03 |
| 9:12:00 | 126,98 | 127,17 | 0,15 | 10,48 | 10,5 | 0,2 | 1264,44 | 1267,08 | 0,21 | 59,92 | 59,99 | 0,13 |
| 9:13:00 | 127,12 | 127,18 | 0,05 | 10,68 | 10,68 | 0 | 1287,65 | 1287,66 | 0 | 59,98 | 59,97 | 0,02 |
| 9:14:00 | 127,2 | 127,24 | 0,03 | 9,85 | 9,84 | 0,08 | 1188,75 | 1187,97 | 0,07 | 60 | 60,04 | 0,07 |
| 9:15:00 | 127,42 | 127,23 | 0,15 | 10,5 | 10,48 | 0,2 | 1266,36 | 1263,85 | 0,2 | 60,01 | 60,03 | 0,03 |
| 9:16:00 | 127,02 | 127,25 | 0,18 | 6,55 | 6,56 | 0,18 | 792,17 | 793 | 0,11 | 59,93 | 59,98 | 0,08 |
| 9:17:00 | 127,23 | 127,2 | 0,02 | 2,76 | 2,76 | 0,13 | 333,09 | 332,9 | 0,06 | 60 | 60,01 | 0,02 |
| 9:18:00 | 127,07 | 127,21 | 0,11 | 1,66 | 1,66 | 0,11 | 200,56 | 200,67 | 0,06 | 59,95 | 59,99 | 0,07 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-------|-------|------|---------|---------|------|-------|-------|------|
| 9:19:00 | 127,22 | 127,21 | 0,01 | 11,3 | 11,29 | 0,12 | 1363,38 | 1362,46 | 0,07 | 60 | 60,01 | 0,02 |
| 9:20:00 | 127,09 | 127,17 | 0,06 | 8,38 | 8,39 | 0,1 | 1012,35 | 1013,06 | 0,07 | 59,95 | 59,99 | 0,07 |
| 9:21:00 | 126,99 | 127,23 | 0,19 | 6,96 | 6,98 | 0,19 | 840,45 | 842,06 | 0,19 | 59,92 | 59,98 | 0,1 |
| 9:22:00 | 127,3 | 127,18 | 0,09 | 10,72 | 10,7 | 0,18 | 1292,01 | 1289,87 | 0,16 | 60 | 60,03 | 0,05 |
| 9:23:00 | 127,14 | 127,24 | 0,08 | 1,94 | 1,94 | 0 | 233,91 | 233,92 | 0 | 59,98 | 59,96 | 0,03 |
| 9:24:00 | 127,16 | 127,19 | 0,02 | 10,33 | 10,32 | 0,08 | 1248,6 | 1247,96 | 0,05 | 59,99 | 60 | 0,02 |
| 9:25:00 | 127,32 | 127,21 | 0,09 | 9,33 | 9,31 | 0,19 | 1125,75 | 1123,67 | 0,18 | 60,01 | 59,96 | 0,08 |
| 9:26:00 | 127,04 | 127,15 | 0,09 | 8,9 | 8,91 | 0,14 | 1075,39 | 1076,67 | 0,12 | 59,94 | 59,97 | 0,05 |
| 9:27:00 | 127,25 | 127,16 | 0,07 | 11,35 | 11,34 | 0,1 | 1368,57 | 1367,65 | 0,07 | 60 | 59,99 | 0,02 |
| 9:28:00 | 127,09 | 127,23 | 0,11 | 11,61 | 11,62 | 0,1 | 1400,43 | 1401,59 | 0,08 | 59,95 | 59,98 | 0,05 |
| 9:29:00 | 126,94 | 127,22 | 0,22 | 1,27 | 1,28 | 0,27 | 152,92 | 153,33 | 0,27 | 59,89 | 60,02 | 0,22 |
| 9:30:00 | 127,42 | 127,16 | 0,2 | 10,15 | 10,13 | 0,22 | 1224,23 | 1221,75 | 0,2 | 60,01 | 59,99 | 0,03 |
| 9:31:00 | 127,2 | 127,18 | 0,01 | 11,45 | 11,44 | 0,08 | 1381,04 | 1380,05 | 0,07 | 60 | 59,98 | 0,03 |
| 9:32:00 | 126,96 | 127,24 | 0,22 | 10,48 | 10,5 | 0,19 | 1264,44 | 1267,08 | 0,21 | 59,9 | 60,03 | 0,22 |
| 9:33:00 | 127,1 | 127,15 | 0,04 | 10,68 | 10,68 | 0 | 1287,65 | 1287,66 | 0 | 59,96 | 59,97 | 0,02 |
| 9:34:00 | 127,13 | 127,25 | 0,1 | 9,85 | 9,84 | 0,08 | 1188,75 | 1187,97 | 0,07 | 59,97 | 60,02 | 0,08 |
| 9:35:00 | 126,91 | 127,15 | 0,19 | 10,5 | 10,48 | 0,27 | 1266,36 | 1263,85 | 0,2 | 59,88 | 59,97 | 0,15 |
| 9:36:00 | 127,11 | 127,22 | 0,09 | 6,55 | 6,56 | 0 | 792,17 | 793 | 0,11 | 59,97 | 59,97 | 0 |
| 9:37:00 | 127,15 | 127,15 | 0 | 2,76 | 2,76 | 0 | 333,09 | 332,9 | 0,06 | 59,99 | 59,99 | 0 |
| 9:38:00 | 127,1 | 127,18 | 0,06 | 1,66 | 1,66 | 0 | 200,56 | 200,67 | 0,06 | 59,96 | 59,96 | 0 |
| 9:39:00 | 126,9 | 127,2 | 0,24 | 11,3 | 11,29 | 0,29 | 1363,38 | 1362,46 | 0,23 | 59,88 | 59,99 | 0,18 |
| 9:40:00 | 127,5 | 127,23 | 0,21 | 8,38 | 8,39 | 0,24 | 1012,35 | 1013,06 | 0,2 | 60,02 | 60 | 0,03 |
| 9:41:00 | 127,19 | 127,18 | 0,01 | 6,96 | 6,98 | 0,08 | 840,45 | 842,06 | 0,08 | 60 | 59,98 | 0,03 |
| 9:42:00 | 126,98 | 127,17 | 0,15 | 10,72 | 10,7 | 0,2 | 1292,01 | 1289,87 | 0,16 | 59,91 | 59,99 | 0,13 |
| 9:43:00 | 127,14 | 127,24 | 0,08 | 1,94 | 1,94 | 0 | 233,91 | 233,92 | 0 | 59,98 | 59,96 | 0,03 |
| 9:44:00 | 127,16 | 127,24 | 0,06 | 10,33 | 10,32 | 0,08 | 1248,6 | 1247,96 | 0,05 | 60 | 60,04 | 0,07 |
| 9:45:00 | 127,32 | 127,23 | 0,07 | 9,33 | 9,31 | 0,19 | 1125,75 | 1123,67 | 0,18 | 60,01 | 60,03 | 0,03 |
| 9:46:00 | 127,04 | 127,25 | 0,16 | 8,9 | 8,91 | 0,18 | 1075,39 | 1076,67 | 0,12 | 59,93 | 59,98 | 0,08 |
| 9:47:00 | 127,25 | 127,2 | 0,04 | 11,35 | 11,34 | 0,13 | 1368,57 | 1367,65 | 0,07 | 60 | 60,01 | 0,02 |
| 9:48:00 | 127,09 | 127,21 | 0,09 | 11,61 | 11,62 | 0,11 | 1400,43 | 1401,59 | 0,08 | 59,95 | 59,99 | 0,07 |
| 9:49:00 | 127,22 | 127,21 | 0,01 | 1,27 | 1,28 | 0,12 | 152,92 | 153,33 | 0,07 | 60 | 60,01 | 0,02 |
| 9:50:00 | 127,09 | 127,17 | 0,06 | 10,59 | 10,57 | 0,1 | 1279,79 | 1277,58 | 0,04 | 59,95 | 59,99 | 0,07 |
| 9:51:00 | 126,99 | 127,23 | 0,19 | 2,04 | 2,05 | 0,19 | 245,89 | 246,36 | 0,19 | 59,92 | 59,98 | 0,1 |
| 9:52:00 | 127,3 | 127,18 | 0,09 | 5,53 | 5,54 | 0,18 | 667,63 | 668,32 | 0,12 | 60 | 60,03 | 0,05 |
| 9:53:00 | 127,14 | 127,24 | 0,08 | 7,89 | 7,89 | 0 | 951,97 | 952,28 | 0,03 | 59,98 | 59,96 | 0,03 |
| 9:54:00 | 127,16 | 127,19 | 0,02 | 8,21 | 8,21 | 0,08 | 989,26 | 989,27 | 0,03 | 59,99 | 60 | 0,02 |
| 9:55:00 | 127,32 | 127,21 | 0,09 | 9,35 | 9,38 | 0,19 | 1130,34 | 1132,86 | 0,18 | 60,01 | 59,96 | 0,08 |
| 9:56:00 | 127,04 | 127,15 | 0,09 | 12,16 | 12,16 | 0,14 | 1466,02 | 1466,17 | 0,12 | 59,94 | 59,97 | 0,05 |
| 9:57:00 | 127,25 | 127,16 | 0,07 | 4,42 | 4,42 | 0,1 | 533,2 | 533,15 | 0,06 | 60 | 59,99 | 0,02 |
| 9:58:00 | 127,09 | 127,23 | 0,11 | 7,79 | 7,79 | 0,1 | 939,02 | 939,12 | 0,07 | 59,95 | 59,98 | 0,05 |
| 9:59:00 | 126,94 | 127,22 | 0,22 | 10,35 | 10,38 | 0,27 | 1250,78 | 1253,76 | 0,24 | 59,89 | 60,02 | 0,22 |

Los valores señalados por el color amarillo son valores máximos y los valores señalados por el color verde son valores mínimos.




ANEXO 9: PORCENTAJE DE PLAGIO.



5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.