

Dirección de Área de Conocimiento Industria y Producción

“Desarrollo de un prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago utilizando el microcontrolador ESP32, e integrando conceptos de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia y precisión en la administración del consumo eléctrico en los usuarios residenciales con tarifa T0 en Nicaragua”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Eléctrico

Elaborado por:

Br. Lenin Rigoberto
Aguilar Pérez
Carnet: 2020-0096U

Br. María José
Obando Flores
Carnet: 2020-0013U

Tutor:

Ing. Marlovio José Sevilla
Hernández

17de febrero de 2025
Managua, Nicaragua



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

Managua, 27 de septiembre de 2024

Bachilleres

Lenin Rigoberto Aguilar Pérez
María José Obando Flores

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el **PROTOCOLO** de su tema monográfico, titulado: **"Desarrollo de un prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago utilizando el microcontrolador ESP32, e integrando conceptos de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia y precisión en la administración del consumo eléctrico en los usuarios residenciales con tarifa T0 en Nicaragua.** Ha sido aprobado por esta Dirección.

Asimismo, les comunico estar totalmente de acuerdo, con el **Ing. Marlovio José Sevilla Hernández.**

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **27 de marzo de 2025.**

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

MSc. Luis Alberto Chavarría Alvarado

Director

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

Afines



CC: Tutor: **Ing. Marlovio José Sevilla Hernández.**

Archivo.



Teléfono: (505) 2251 0276



Recinto Universitario Pedro Anáez Palacios
Costado Sur de Villa Progreso,
Managua, Nicaragua.



luis.chavarria@fdi.unl.edu.ni
www.unl.edu.ni



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE
INGENIERÍA Y AFINES hace constar que:

OBANDO FLORES MARIA JOSE

Carné: 2020-0013U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERÍA ELECTRICA, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

☎ Teléfono: (505) 2251 8276

📍 Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso,
Managua, Nicaragua.

✉ luis.chavarria@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 06-ago.-2024



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE
INGENIERÍA Y AFINES hace constar que:

AGUILAR PEREZ LENIN RIGOBERTO

Carné: 2020-0096U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERÍA ELECTRICA, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Teléfono: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso,
Managua, Nicaragua.



luis.chavarria@fti.unl.edu.ni
www.unl.edu.ni

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 06-ago.-2024

Dedicatoria

A Dios, fuente de toda sabiduría y fortaleza, por guiarnos en cada paso de este proceso y brindarnos la luz necesaria para culminar con éxito este trabajo.

A nuestros padres y madres, quienes siempre han sido nuestro pilar, brindándonos su amor incondicional, apoyo constante y los valores que nos han guiado en la vida.

A nuestros hermanos y hermanas, por su compañía, amor y motivación en todo momento, siendo un apoyo constante en los momentos de dificultad y celebrando nuestras victorias.

A nuestros amigos y parejas, quienes nos han acompañado con su apoyo y ánimo en cada etapa de este proyecto, enriqueciendo este camino de aprendizaje y crecimiento que hemos compartido juntos.

A nuestro tutor, por su orientación, paciencia y confianza en nuestro trabajo, ayudándonos a concretar nuestras ideas y a alcanzar los objetivos de esta monografía.

A todas aquellas personas que nos apoyaron en la realización de las pruebas necesarias, sin las cuales este trabajo no hubiera sido posible, brindando su tiempo y conocimientos.

Finalmente, a nuestras abuelitas, quienes ya no están con nosotros, pero cuyo amor, enseñanzas y ejemplo siguen presentes en cada uno de nosotros, inspirándonos a seguir adelante.

Resumen del tema

El presente trabajo monográfico aborda el desarrollo de un prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago' basado en el microcontrolador ESP32 e integrado con conceptos de Internet de las Cosas (IoT). Este sistema tiene como objetivo mejorar la administración del consumo eléctrico en el sector residencial nicaragüense mediante la implementación de un modelo prepago. El prototipo incluye sensores para medir parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia y energía, así como módulos de comunicación inalámbrica para el monitoreo remoto a través de plataformas como ThingSpeak. Durante su desarrollo, se diseñó un entorno de prueba que permitió adquirir energía mediante códigos de compra y monitorear su consumo en tiempo real.

El sistema fue evaluado en un entorno residencial, donde se validó su precisión, funcionalidad y capacidad para gestionar eficientemente el consumo eléctrico. Entre los resultados destacan la correcta ejecución del corte de energía al agotarse el saldo, el monitoreo en tiempo real, y la consistencia de las mediciones en comparación con dispositivos estándar. Este trabajo sienta las bases para futuras implementaciones de sistemas de gestión energética más eficientes y sostenibles en el ámbito residencial.

Palabras clave: Medición de energía, sistema prepago, microcontrolador ESP32, Internet de las Cosas (IoT), consumo eléctrico, monitoreo remoto, corte de energía, eficiencia energética.

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. Justificación	4
4. Marco Teórico.....	5
4.1 Morosidad en el pago de las facturas de energía eléctrica en Nicaragua	5
Problemática.....	6
Importancia de una gestión efectiva en el pago de facturas eléctricas para empresas distribuidoras y consumidores	6
Repercusiones sociales y económicas de la morosidad en el pago de facturas eléctricas en la sociedad	10
4.2 Marco legal y regulatorio del Servicio Eléctrico en Nicaragua	13
Conceptos y características del Servicio Eléctrico en Nicaragua	14
Pliegos tarifarios del Servicio Eléctrico en Nicaragua.....	17
4.3 Sistemas de Medición y Gestión de Energía Eléctrica en Nicaragua	19
Aspectos técnicos de los Sistemas de Medición de Energía Eléctrica en Nicaragua.....	19
Tipos de medidores (ANSI e IEC)	21
Sistemas de Medición y Gestión Prepago de Energía Eléctrica.....	23
Definición y Tipos	24
Su funcionamiento	25
Ventajas y desventajas.....	25
4.4 Tecnología aplicada en los Sistemas de Medición y Gestión Prepago de Energía Eléctrica.....	26
Microcontrolador ESP32.....	27
Gestión remota del consumo energético.....	27
Componentes a utilizar	30
5. Análisis y presentación de resultados	36
5.1 Metodología	36
Universo y Muestra.....	37
Fuentes de Información	37

5.2	Análisis Técnico y Viabilidad del Sistema de Medición Prepago en Nicaragua.....	38
5.3	Normativas Técnicas del Prototipo de Medidor de Energía Prepago	42
5.4	Construcción del Prototipo de Medidor de Energía Prepago	46
5.5	Pruebas en Laboratorio de Máquinas Eléctricas.....	54
5.6	Pruebas en Instituto Nicaragüense de Energía.....	58
5.7	Pruebas en entorno Residencial.....	67
6.	Conclusiones	71
7.	Recomendaciones	72
8.	Bibliografía.....	73
9.	Anexos	i

1. Introducción

El presente trabajo monográfico se enmarca en el contexto de una problemática significativa en el sector eléctrico nicaragüense, relacionada con la alta morosidad en las facturas de energía eléctrica en los usuarios residenciales con tarifa T0. Esta situación ha generado un impacto negativo tanto en los consumidores, quienes enfrentan dificultades económicas derivadas de la acumulación de deudas, como en las empresas distribuidoras de energía, que ven comprometidos sus ingresos y la calidad del servicio. A esta problemática se suman el uso irracional de la energía y las conexiones ilegales, que agravan la situación, afectando la seguridad y la eficiencia del suministro eléctrico en el país.

Para abordar esta problemática, se desarrolló un prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago' basado en el microcontrolador ESP32, integrando conceptos de Internet de las Cosas (IoT). Este sistema ofrece una solución tecnológica que permite a los usuarios residenciales un mayor control sobre su consumo de energía en tiempo real, facilitando la administración eficiente de sus recursos y evitando la acumulación de deudas. Al mismo tiempo, para las empresas distribuidoras, esta herramienta contribuye a mejorar la gestión del servicio, reduciendo la morosidad y optimizando la infraestructura eléctrica.

El desarrollo del prototipo se llevó a cabo en varias etapas. En primer lugar, se construyó el prototipo que incluye sensores de medición eléctrica y módulos de comunicación inalámbrica para proporcionar la funcionalidad necesaria al sistema de facturación prepago. Posteriormente, se diseñó un entorno de prueba que permite a los usuarios comprar créditos de energía y gestionarlos mediante una interfaz digital, facilitando así el control del consumo energético. Finalmente, se realizaron pruebas en el laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Nacional de Ingeniería y en una residencia como entornos controlados para verificar el rendimiento y la eficiencia del sistema.

Además, se llevaron a cabo pruebas en el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) con el patrón verificador Zera modelo MT310, un equipo especializado en verificar el estado de los medidores de energía. Este dispositivo evalúa si el rango de precisión de los medidores cumple con la Normativa Servicio Eléctrico 2.2 (N.S.E 2.2), asegurando que las mediciones sean precisas y confiables para su uso en aplicaciones de facturación y control energético. Instituto Nicaragüense de Energía. (2001). *Normativa de Servicio Eléctrico*, INE-12-2001-NSE-02-15-05-2001 / INE-18-2001-NSE-02-17-07-2001. Instituto Nicaragüense de Energía. “Es responsabilidad de la Empresa de Distribución que cada medidor instalado, y sus equipos asociados, estén debidamente calibrados y sellados conforme a la Normativa de Calidad (NCS5.1.12), de manera tal, que la energía y la potencia sean medidas con un margen de error de $\pm 2\%$ en relación con el patrón establecido por la Empresa de Distribución”.

La importancia de este prototipo radica en su capacidad para mejorar la gestión del consumo energético al integrar IoT, permitiendo una medición precisa en tiempo real y facilitando un control eficiente para los usuarios y las empresas distribuidoras. Así, este sistema de medición y gestión de energía prepago no solo responde a una necesidad crítica, sino que también impulsa la adopción de tecnologías innovadoras en el sector eléctrico de Nicaragua.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago' utilizando el microcontrolador ESP32, e integrando conceptos de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia y precisión en la administración del consumo eléctrico en el sector residencial nicaragüense.

2.2 Objetivos Específicos

- Construir un prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago' basado en el microcontrolador ESP32, que incluya sensores para medir el consumo eléctrico y módulos de comunicación inalámbrica, con el fin de proporcionar funcionalidad al sistema de medición y facturación prepago de energía eléctrica.
- Diseñar un entorno de prueba prepago que permita a los usuarios comprar créditos de energía y administrarlos a través de una interfaz digital, para facilitar el control y la gestión del consumo energético.
- Efectuar pruebas de funcionamiento en entornos de laboratorio que permitan verificar la eficiencia del prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago', con el propósito de garantizar el adecuado rendimiento del sistema.

3. Justificación

En Nicaragua, el sector eléctrico afronta un persistente problema de morosidad en las facturas de energía eléctrica, lo que afecta tanto a los consumidores como a la empresa distribuidora de energía eléctrica. Este fenómeno se atribuye al uso irracional de la energía y a las conexiones ilegales. La morosidad no solo impacta negativamente los ingresos de las empresas distribuidoras, sino que también puede provocar problemas de seguridad y calidad en el suministro de energía para los clientes.

Para los usuarios, la falta de pago puede resultar en la suspensión del servicio, afectando su calidad de vida y actividades diarias. Además, la acumulación de deudas dificulta su capacidad para superar el ciclo de endeudamiento, especialmente para aquellos con recursos financieros limitados. Por otro lado, para las empresas distribuidoras, la morosidad representa una pérdida de ingresos y dificulta el mantenimiento y mejora de la infraestructura eléctrica, lo que puede afectar la calidad y confiabilidad del servicio para todos los usuarios.

Para abordar esta problemática, se requiere la implementación de medidas integrales tanto a nivel social como ambiental en Nicaragua. Una de estas medidas es el desarrollo de un prototipo de ´sistema de medición y gestión de energía prepago´, basado en el microcontrolador ESP32 y conceptos de Internet de las Cosas (IoT). Este prototipo tiene como objetivo proporcionar una herramienta efectiva para monitorear y controlar el consumo de energía eléctrica en tiempo real en el sector residencial. Brindando beneficios tangibles para los usuarios y las empresas distribuidoras. Para los usuarios residenciales, el sistema les permitirá un mayor control sobre su consumo de energía, lo que les ayudará a reducir sus gastos y evitar la acumulación de deudas. Para las empresas distribuidoras, la implementación de este sistema mejorará la eficiencia en la gestión del servicio, reduciendo la morosidad y optimizando la infraestructura eléctrica. Por lo tanto, este prototipo contribuirá promover un uso más responsable y sostenible de la energía eléctrica en el país.

4. Marco Teórico

4.1 Morosidad en el pago de las facturas de energía eléctrica en Nicaragua

En el contexto de pago de facturas de energía eléctrica, la morosidad se refiere a un incumplimiento en los pagos de los importes correspondientes al consumo de electricidad por parte del consumidor hacia la empresa distribuidora. Esta situación genera un retraso en los pagos, lo que puede derivar en la acumulación de deudas significativas por parte de los usuarios. A su vez, puede tener origen en dificultades financieras individuales, cambios en las circunstancias personales o falta de conciencia sobre el uso racional de la energía.

La morosidad en el pago de facturas de energía eléctrica representa una problemática compleja que afecta tanto a las empresas distribuidoras como a los usuarios del servicio eléctrico. Por parte de la empresa distribuidora, esta genera un conjunto de desafíos financieros y operativos. En primer lugar, la falta de pagos oportunos por parte de los clientes conlleva a una disminución en los ingresos esperados, lo que repercute en la capacidad de la empresa para cubrir sus costos operativos, incluyendo mantenimiento de infraestructura y pago de salarios, esto puede resultar en dificultades para garantizar un suministro eléctrico confiable y de calidad para los usuarios finales.

Además, la morosidad puede aumentar los costos de cobranza y recuperación de deudas. Lo que requiere una asignación de los recursos adicionales por parte de la empresa. Para los usuarios, la morosidad en el pago de facturas eléctricas puede tener consecuencias significativas. Los usuarios que no pagan sus facturas a tiempo corren el riesgo de enfrentar cortes de suministro eléctrico, lo que puede afectar su calidad de vida y productiva. La acumulación de deudas por pagos atrasados puede llevar a una mayor presión financiera y dificultades para satisfacer otras necesidades básicas.

Problemática

Según el estudio realizado por Ardila Jiménez (2018), la morosidad en el pago de facturas de energía eléctrica representa una problemática significativa en el mercado, afectando tanto a las empresas prestadoras del servicio como a los clientes. La morosidad puede impactar la sostenibilidad de la cadena de prestación del servicio, lo que resalta la importancia de caracterizar a los clientes morosos y diseñar estrategias de pago efectivas para mitigar esta situación. Se destaca que la morosidad residencial, comercial e industrial presenta variaciones en cuanto al periodo de mora, la efectividad de la suspensión del servicio, el olvido de los pagos y el costo de la reconexión, lo que requiere medidas específicas para cada tipo de cliente.

Dicho estudio, empleó el análisis de variables macroeconómicas como el índice de precios al consumidor y la tasa de desempleo de la ciudad para utilizar el modelo VAR residencial. Los resultados obtenidos en el estudio revelaron que la morosidad en el servicio eléctrico afecta el flujo de dinero en la compañía, impactando en las actividades de los accionistas, pago de nóminas e inversión para futuros proyectos, así mismo, destacan la influencia de la morosidad pasada en la futura. Estos puntos reflejan cómo las fluctuaciones económicas, como el desempleo y la inflación afectan la capacidad de los consumidores para pagar sus facturas a tiempo.

Importancia de una gestión efectiva en el pago de facturas eléctricas para empresas distribuidoras y consumidores

El crecimiento de la demanda de energía es un fenómeno crucial para el desarrollo y estabilidad económica de cualquier país. En un entorno en constante cambio, es fundamental comprender y proyectar el consumo energético futuro, tomando en cuenta factores clave como los datos del Banco Central, el crecimiento poblacional y la planificación de inversiones en infraestructura y otros proyectos estratégicos. La demanda de energía no solo refleja el uso creciente de

bienes y servicios, sino también las necesidades de una población en expansión y de sectores industriales en continuo desarrollo. Por ello, es esencial que las autoridades y las empresas del sector energético se mantengan informadas y adapten sus estrategias, garantizando una oferta energética eficiente y sostenible que pueda responder a estas proyecciones. Esto requiere inversiones en tecnologías innovadoras y en la mejora de la infraestructura para asegurar un suministro energético fiable y que satisfaga las necesidades futuras.

La gestión efectiva en el pago de facturas eléctricas es de suma importancia tanto para las empresas distribuidoras como para los consumidores. En un contexto en el que la demanda de energía eléctrica está en constante crecimiento, es esencial implementar sistemas que permitan una administración eficiente. Para las empresas distribuidoras, una gestión efectiva en el pago de facturas eléctricas les proporciona una mayor estabilidad financiera y les permite seguir brindando un servicio de calidad a sus clientes.

Se han recolectado datos del Centro Nacional de Despacho de Carga (CNDC) de Nicaragua correspondientes al período de enero 2024 a octubre 2024¹, con el objetivo de analizar el crecimiento promedio de la demanda eléctrica.



Figura No. 1 – Comportamiento de la demanda de enero a octubre 2024.²

¹ Se recolectaron los datos hasta octubre del 2024 debido a que el CNDC reformó su página web y estos ya no son acceso público.

² Gráfica de elaboración propia tomando los datos de los informes oficiales del SIMEC.

Cada documento de orden público proporciona una curva de duración de carga y despacho de energía para los meses mencionados, detallando la demanda de energía máxima, mínima y promedio. Esta información permite examinar la relación entre la demanda de energía y su duración en horas, así como el porcentaje de utilización de la capacidad. Además, proporcionan gráficos para visualizar la distribución de la demanda de energía según el tipo de fuente. Esta recopilación de datos resulta fundamental para comprender la importancia de una gestión efectiva en el pago de facturas eléctricas, tanto para las empresas distribuidoras como para los consumidores, en el contexto del crecimiento continuo de la demanda energética.

Tabla No. 1 - Demanda promedio de energía eléctrica en mega watts (MW) de enero a octubre 2024.

Mes	Demanda Promedio (MW)
Enero	776.5 MW
Febrero	788 MW
Marzo	828.8 MW
Abril	842.4 MW
Mayo	855.3 MW
Junio	800.8 MW
Julio	773.5 MW
Agosto	800.1 MW
Septiembre	788.8 MW
Octubre	765 MW

La tabla 1 presenta la demanda promedio de energía eléctrica registrada en cada mes durante el periodo analizado. En enero, la demanda promedio alcanzó los 776.5 MW, mientras que en febrero aumentó a 788 MW y en marzo se elevó aún más, llegando a 828.8 MW. Aunque la demanda máxima para el 2024 fue en el mes de mayo con un total de 855.3 MW. Estos datos ilustran claramente el crecimiento progresivo de la demanda energética a lo largo de los meses estudiados. Este incremento en la demanda destaca la importancia de una gestión efectiva en el pago de facturas eléctricas, tanto para las empresas distribuidoras como para los consumidores, quienes deben adaptarse a una demanda en constante aumento.

El crecimiento de la demanda energética requiere una gestión eficaz para asegurar tanto la sostenibilidad del sistema eléctrico como la estabilidad financiera. Según expertos, la gestión activa de la demanda (GAD) es fundamental, especialmente en contextos donde factores como el crecimiento poblacional y la implementación de grandes proyectos energéticos pueden ejercer presión sobre la infraestructura. La implementación de sistemas de gestión como el GEDE (Gestión de Energía Eléctrica Domiciliaria) ayuda a optimizar el uso de la energía, promoviendo un equilibrio entre la oferta y la demanda. Esto no solo permite mantener un flujo de ingresos estable, sino que también facilita la participación de los usuarios activos en el mercado energético, generando ahorros económicos y contribuyendo a la eficiencia del sistema eléctrico. Vega Escobar, A. M. (2018).

Según Vega Escobar (2018), la gestión activa de la demanda (GAD) es un enfoque clave para enfrentar los desafíos del crecimiento energético, ya que permite un uso más eficiente y equilibrado de los recursos disponibles. Este sistema no solo optimiza el consumo energético, sino que también fomenta la interacción de los consumidores con el mercado energético, aumentando su participación en la gestión de la demanda. Esto se traduce en beneficios económicos para los usuarios y en una mayor estabilidad financiera para las

empresas distribuidoras. Además, herramientas como el GEDE facilitan la implementación de soluciones innovadoras que promueven un balance adecuado entre la oferta y la demanda, minimizando el riesgo de interrupciones en el suministro y maximizando la sostenibilidad del sistema eléctrico.

Una gestión efectiva en el pago de facturas eléctricas es un componente esencial para afrontar el crecimiento continuo de la demanda energética. Por un lado, asegura ingresos estables para las empresas distribuidoras, lo que les permite mantener e innovar en infraestructura y servicios. Por otro, fomenta un uso más consciente de los recursos por parte de los consumidores, quienes pueden aprovechar herramientas y sistemas para reducir costos y contribuir a un sistema energético más eficiente y sostenible. En este contexto, la implementación de estrategias como la GAD y tecnologías como el GEDE no solo garantiza la estabilidad del sistema eléctrico, sino que también contribuye al desarrollo económico y ambiental en el largo plazo.

Repercusiones sociales y económicas de la morosidad en el pago de facturas eléctricas en la sociedad

La morosidad en el pago de facturas de energía eléctrica, como se describe en el estudio de Bateman et al. (2011). “Las familias se ven en la necesidad de recurrir a diversas fuentes de recursos, como la venta o empeño de activos, la reducción de gastos o el endeudamiento. En particular la opción de endeudamiento es una estrategia que puede tener repercusiones negativas para la familia, pues la necesidad de saldar las cuentas obliga a las personas a endeudarse de nuevo, entrando en un círculo vicioso”.

Cuando las familias no pueden pagar sus facturas a tiempo, se ven obligadas a buscar diferentes formas de obtener dinero para cubrir la deuda, lo que puede implicar en vender o empeñar sus activos, reducir gastos en otras áreas o tomar préstamos para poder pagar los pendientes. El endeudamiento puede convertirse en un problema mayor para estas familias, ya que el pago de nuevas deudas

puede llevarlas a un ciclo continuo de endeudamiento, lo que agrava su situación financiera generando un círculo vicioso difícil de romper.

Así mismo, en los asentamientos vulnerables, la morosidad en el pago de las facturas de energía eléctrica puede exacerbar las condiciones de pobreza energética y aumentar la exclusión social. Las familias que no pueden pagar sus facturas a tiempo corren el riesgo de enfrentar cortes de suministro eléctrico, lo que puede afectar su calidad de vida y bienestar. Además, el endeudamiento resultante de la incapacidad para pagar las facturas puede llevar a un mayor estrés financiero y dificultades para satisfacer otras necesidades básicas.

De igual manera, en el caso de la electrificación rural, la morosidad puede obstaculizar los esfuerzos para llevar servicios eléctricos a comunidades remotas y poco desarrolladas. Las empresas distribuidoras pueden enfrentar dificultades para recuperar los costos de inversión en infraestructura eléctrica en áreas con baja densidad de población y bajos niveles de ingresos. Como resultado, muchas comunidades rurales pueden quedar excluidas del acceso a la electricidad, lo que limita su desarrollo socioeconómico y su capacidad para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La morosidad también impacta la relación entre las empresas generadoras de energía y las distribuidoras. Las generadoras dependen de pagos oportunos para mantener y expandir sus operaciones, mientras que las distribuidoras, al no recibir pagos regulares de sus clientes, pueden tener problemas para cumplir con sus obligaciones financieras hacia las generadoras. Esta cadena de atrasos puede crear tensiones en la relación comercial y poner en riesgo la estabilidad del suministro eléctrico. Si las distribuidoras no pueden pagar a las generadoras, se ven afectadas las operaciones de generación, mantenimiento y desarrollo de nuevas fuentes de energía, lo que puede perjudicar toda la red eléctrica y sus usuarios.

En términos de infraestructura eléctrica, la morosidad afecta la calidad y confiabilidad del suministro en toda la red. La falta de recursos financieros limita la capacidad de las empresas distribuidoras para invertir en mantenimiento, actualización y expansión de la infraestructura, lo que puede llevar a interrupciones más frecuentes en el servicio, perjudicando a usuarios comerciales, industriales y residenciales.

En relación con el desarrollo de la matriz energética, la morosidad impacta negativamente en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. La falta de fondos dificulta la inversión en tecnologías renovables y programas de eficiencia energética, retrasando la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible

El uso irracional de la energía se refiere a prácticas de consumo en las que se desperdicia energía sin necesidad, o se utilizan dispositivos de manera poco eficiente. Por ejemplo, mantener luces encendidas en habitaciones vacías, dejar dispositivos electrónicos en modo de espera en lugar de apagarlos, o usar electrodomésticos antiguos y de alto consumo sin considerar alternativas más eficientes. Estas prácticas son comunes debido a la percepción de que el ahorro energético no tiene un impacto significativo, o porque los hábitos de consumo energético no se consideran una prioridad.

Según Vega Escobar, A. M. (2018). Un estudio realizado por Hernández et al. (2014) indica que muchas personas desconocen o subestiman el efecto de estas prácticas, lo que lleva a un uso desmesurado de la energía y, por ende, a un aumento en el consumo de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero. Las consecuencias de este uso irracional son tanto económicas como ambientales: el desperdicio de energía incrementa las facturas eléctricas y contribuye al deterioro del medio ambiente.

En términos medioambientales, la morosidad puede fomentar un uso ineficiente de la energía. Los hogares y empresas que no pagan sus facturas tienen menos incentivos para adoptar prácticas de consumo responsable y eficiente, lo que intensifica el problema. Sin un esfuerzo consciente por mejorar la eficiencia energética, el consumo de recursos se mantiene alto, dificultando las iniciativas de reducción de emisiones y aumentando la presión sobre las fuentes de energía no renovables.

4.2 Marco legal y regulatorio del Servicio Eléctrico en Nicaragua

En Nicaragua el Servicio Eléctrico se encuentra establecido por varias leyes y regulaciones que buscan garantizar la eficiencia, la calidad y el acceso equitativo de la electricidad en el país. Para entender los principales aspectos de este marco se deben conocer las 3 escalas de la electricidad, las cuales son: Generación, Transmisión y Distribución.

Según la Ley N° 272 “Ley de la Industria Eléctrica” (2021) la actividad de generación es la producción de electricidad mediante el aprovechamiento y transformación de cualquier fuente de energía, esta puede ser realizada por empresas estatales privadas o mixtas bajo un esquema libre de competencia y concesiones otorgadas por el Estado.

Así mismo, la actividad de transmisión es el transporte de energía eléctrica a través de líneas y subestaciones a un voltaje no menor de 69 kilovoltios (kV) desde las centrales eléctricas de generación hasta los centros de distribución. La actividad de distribución es la entrega de energía eléctrica a clientes y grandes consumidores a través de un sistema de distribución, ambas actividades están a cargo de la Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica (ENATREL) y de las empresas distribuidoras, respectivamente. Estas operan bajo concesiones otorgadas por el Estado y están sujetas a la regulación y supervisión del Instituto Nicaragüense de Energía (INE).

La gestión y regulación del sector eléctrico involucra varias entidades que trabajan en conjunto para garantizar un suministro eléctrico confiable, seguro y accesible para todos los nicaragüenses, así como para promover el desarrollo sostenible del sector energético en el país. En primer lugar se encuentra el Ministerio de Energía y Minas (MEM) este es el órgano rector del sector eléctrico puesto que se encarga de la formulación de políticas energéticas y la promoción de inversiones en el sector eléctrico.

El MEM trabaja estrechamente con el INE en la planificación y desarrollo del sector, el INE por su parte es el ente regulador encargado de supervisar y regular todas las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país estableciendo tarifas y resolución de conflictos en el sector eléctrico.

Posteriormente están las empresas de generación eléctrica que operan plantas de generación hidroeléctrica, térmica, eólica, solar y geotérmica contribuyendo a la producción de electricidad para abastecer la demanda nacional.

Luego está ENATREL que su función principal es operar, mantener y expandir la red de transmisión eléctrica del país para garantizar un suministro confiable. Seguidamente están las empresas distribuidoras que hay tanto públicas como privadas autorizadas por el Estado que se encargan de operar y mantener las redes de distribución, así como brindar atención al cliente y gestionar el cobro de facturas.

Conceptos y características del Servicio Eléctrico en Nicaragua

El servicio eléctrico está destinado a proporcionar energía eléctrica de manera confiable, segura y eficiente a los usuarios finales. Con respecto a las escalas de la electricidad, se lleva a cabo todo un proceso para entregar dicho servicio a los consumidores.

La producción de la energía pasa a una estación elevadora que incrementa la tensión de la energía generada hasta las líneas de transporte de grandes distancias, estas redes de transporte unen a los centros de interconexión en el país (subestaciones eléctricas), desde esta subestación reducen la tensión y la dirigen a los centros de consumo, su misión es transformar la tensión desde el nivel de la red hasta el de distribución en media tensión; estos centros de transformación alimentan directamente los distintos receptores constituyendo así la tensión que ocupan los usuarios finales (120V, 220V).

De acuerdo con la Normativa de Calidad del Servicio (2005), es responsabilidad de cada Empresa de Distribución prestar el Servicio Público de Distribución a todos los clientes que estén en su área de concesión, con un nivel de calidad satisfactorio acorde con los parámetros mínimos establecidos en la Normativa, realizando para ello los trabajos e inversiones necesarios.

La calidad del servicio eléctrico se refiere a la confiabilidad y estabilidad del suministro eléctrico, incluyendo la disponibilidad continua, la minimización de interrupciones y cortes de energía, así como la regulación de la tensión y la frecuencia suministrada. En el contrato del servicio eléctrico se establecen los derechos y obligaciones del cliente y de la Empresa de Distribución, la factura de energía eléctrica va a depender del consumo por parte del cliente, este consumo es registrado a través de los medidores y puntos de conexión.

Un ejemplo de los derechos y obligaciones del cliente y la Empresa de Distribución es el caso en que los datos recolectados surgiesen el incumplimiento de los niveles comprometidos durante un tiempo superior al tres por ciento (3%) del periodo en que se efectúe la medición, la Empresa de Distribución deberá aplicar en las facturas que envíe a los Clientes, descuentos tarifarios relacionados con la energía a compensar. Los descuentos tarifarios se calcularán valorizando la energía entregada con niveles de tensión fuera de los límites permitidos.

Al igual que la facturación deberá realizarse sobre la base de lecturas reales, exceptuando casos justificados y demostrados de fuerza mayor y/o caso fortuito, en los que podrá estimarse el consumo, como es el caso de desastres naturales. También, cuando un Cliente se presente a reclamar un posible error de facturación, excluida la estimación, la Empresa de Distribución deberá estar en condiciones de informarle, dentro de los plazos especificados en la Normativa de Servicio Eléctrico respectiva, cuál ha sido la resolución con respecto al mismo. De comprobarse el error deberá refacturar y el error no deberá repetirse en la próxima facturación.

Para conocer la energía suministrada en malas condiciones de calidad se deberá medir, simultáneamente con el registro de la tensión, la carga que abastece la instalación donde se está efectuando la medición de tensión.

Conforme a la Normativa del Servicio Eléctrico (2001) para el tema de los cortes de energía por falta de pago, la Empresa de Distribución deberá comunicar previamente al Cliente antes de efectuar el corte de suministro de energía eléctrica. Si el Cliente abona las facturas más los recargos que correspondieran, la Empresa de Distribución deberá restablecer la prestación del servicio suspendido dentro del plazo establecido en la normativa respectiva.

Para llegar al proceso de facturación, según la Normativa del Servicio Eléctrico, la Empresa de Distribución deberá instalar un equipo de medición individual para el registro del consumo de energía de cada servicio eléctrico, excepto en los servicios provisionales en que podrá optar por no hacerlo. La Empresa de Distribución garantizará que dicho equipo de medición se encuentre correctamente calibrado, dentro de los parámetros establecidos y dentro de su vida útil. El medidor se instalará con un sistema de conteo en cero y con sus sellos respectivos.

Los clientes pueden, por su cuenta, instalar equipos de medición después del Punto de Entrega, adicionales al de la Empresa de Distribución, y utilizarlos para reclamos. Para ello, el equipo de medición deberá estar calibrado y certificado, de acuerdo con el patrón de la Distribuidora, de modo que cumpla con el porcentaje de error establecido. En caso de que fuese nuevo, bastará el certificado del fabricante.

Es responsabilidad de la Empresa de Distribución que cada medidor instalado, y sus equipos asociados, estén debidamente calibrados y sellados conforme a la Normativa de Calidad (NCS5.1.12), de manera tal, que la energía y la potencia sean medidas con un margen de error de $\pm 2\%$ en relación con el patrón establecido por la Empresa de Distribución.

La Normativa del Servicio Eléctrico no menciona sobre los medidores actuales como lo son los de tipo electrónico y digital, al igual que el medidor de sistema prepago, sin embargo, deja la pauta a la posibilidad de nuevos medidores siempre y cuando estos pasen las pruebas del patrón de la Distribuidora o Ente Regulador con un margen de error de $\pm 2\%$.

Pliegos tarifarios del Servicio Eléctrico en Nicaragua

En Nicaragua, la normativa del servicio eléctrico está evolucionando para incorporar nuevas tecnologías en la medición de la electricidad, con el objetivo de mejorar la eficiencia, precisión y calidad del servicio. Según el consumo de energía eléctrica registrado en dichos medidores se establecen las tarifas que los usuarios deben pagar. Los pliegos tarifarios tienen por objeto establecer, dentro de cada Contrato de Concesión, las fórmulas, parámetros e indexaciones que corresponden a cada Empresa de Distribución para las tarifas de distribución de cada grupo de consumidores tipificados.

Estos pliegos tarifarios son regulados y aprobados por el INE y tienen como objetivo asegurar que las tarifas sean justas y equitativas, tanto para los consumidores como para los proveedores del servicio eléctrico. Las tarifas eléctricas en Nicaragua se estructuran de manera que reflejen los costos de generación, transmisión, distribución y comercialización de la electricidad. Las tarifas se dividen en varias categorías según el tipo de consumidor y su nivel de consumo.

Para el área residencial exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales su tarifa es clasificada en baja tensión (120, 240 o 480V), conocida por su código T-0, los precios de la energía eléctrica se basan en rangos de consumo. Por ejemplo, una persona paga un precio diferente por los primeros 25 kilovatios hora (kWh) que consume, a otro precio por los siguientes 25 y a un precio adicional por los siguientes 50.³



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR**

TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE DICIEMBRE DE 2024

AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR

BAJA TENSIÓN (120, 240 y 480 V)

	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
RESIDENCIAL	Exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales	T-0	Primeros 25 kWh	2.4807	
			Siguientes 25 kWh	5.9337	
			Siguientes 50 kWh	6.2212	
			Siguientes 50 kWh	8.2693	
			Siguientes 350 kWh	8.3895	
			Siguientes 500 kWh	13.3253	
			Adicionales a 1000 kWh	15.1821	

Figura No. 2 - Pliego tarifario de Baja Tensión Aplicado e Indicativo para tarifa T0 en diciembre 2024.

Cabe agregar que existen tarifas subsidiadas son un mecanismo implementado por el gobierno para aliviar la carga económica que representa el costo del servicio

³ Obtenido de: Instituto Nicaragüense de Energía. (2024). Pliegos tarifarios Disnorte – Dissur 2024 (Diciembre). https://www.ine.gob.ni/?page_id=126511.

eléctrico para los consumidores más vulnerables y de bajos ingresos. Para ser elegibles para las tarifas subsidiadas, los consumidores deben cumplir con el nivel de consumo específico (150 kilovatios-hora por mes). Este umbral suele estar diseñado para cubrir el consumo básico de energía.

4.3 Sistemas de Medición y Gestión de Energía Eléctrica en Nicaragua

Los sistemas de medición y gestión de energía eléctrica juegan un papel crucial en la administración eficiente del suministro energético en Nicaragua. Estos sistemas, que incluyen tanto medidores tradicionales como avanzados, son fundamentales para monitorear el consumo, facturar con precisión y gestionar la demanda de energía.

La implementación de tecnologías de medición y gestión, como los medidores prepagos y las soluciones de monitoreo remoto, no sólo mejora la precisión en la lectura y facturación de consumo, sino que también facilita a los usuarios un mayor control sobre su uso de energía, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes. Estos avances son esenciales para abordar desafíos como la morosidad y para asegurar un suministro eléctrico confiable y accesible para todas las comunidades del país.

Aspectos técnicos de los Sistemas de Medición de Energía Eléctrica en Nicaragua

En Nicaragua, los sistemas de medición de energía eléctrica son instrumentos que registran el consumo de distintos parámetros eléctricos o combinaciones de estos, como potencia y energía. Estos deben cumplir con una serie de especificaciones técnicas y normativas establecidas por el Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua (CIEN). Estas regulaciones aseguran la precisión y seguridad en la medición del consumo energético, garantizando así un

servicio eficiente y confiable. A continuación se presentan los aspectos técnicos de los sistemas de medición de energía eléctrica en base al CIEN:

- **Medidores de Energía Eléctrica:** Los medidores de energía eléctrica utilizados en Nicaragua deben estar aprobados conforme a las normas y especificaciones del CIEN. Estos dispositivos son esenciales para la correcta medición de la energía consumida y deben ser adecuados para el tipo de instalación y uso previstos. Además, los medidores deben cumplir con los requisitos de aislamiento y protección para asegurar su funcionamiento seguro y eficiente.
- **Punto de entrega:** Punto donde la empresa distribuidora se conecta a la instalación interna del cliente. La empresa tiene la obligación de publicar y colocar a la vista del público el procedimiento para leer el medidor, y notificar el inicio de la calibración de estos, así como, número y característica del medidor.
- **Instalación y Uso de Medidores:** Es crucial que los medidores aprobados se instalen y utilicen siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante. Una instalación adecuada garantiza la seguridad y efectividad del sistema, evitando posibles fallas o errores en la medición. La correcta instalación también previene daños tanto en el medidor como en la infraestructura eléctrica. El medidor deberá ser instalado en un lugar apropiado y de fácil acceso. La lectura de los medidores deberá efectuarse mensualmente y de acuerdo con la programación de la empresa.
- **Registro de medidores:** Cada medidor estará identificado con un código único que identifique a la distribuidora, al cliente y al mismo medidor. Es responsabilidad de la empresa que cada medidor instalado y sus equipos asociados estén debidamente calibrados y certificados para asegurar su exactitud.

- **Voltajes:** El voltaje considerado en los sistemas de medición de energía eléctrica debe estar en conformidad con el voltaje nominal del circuito. Esto es vital para asegurar que el medidor opere correctamente y que la medición de la energía consumida sea precisa. El cumplimiento con el voltaje nominal previene problemas de medición y posibles daños en el equipo.
- **Conductores:** Los conductores utilizados para la conexión de los medidores deben cumplir con los requisitos específicos del CIEN. Generalmente, se emplean conductores de cobre debido a su excelente conductividad y durabilidad. Estos conductores deben ser de la calidad y el calibre adecuados para soportar las cargas eléctricas previstas sin degradarse.
- **Aislamiento del Sistema:** La instalación eléctrica que alberga el medidor debe contar con un aislamiento adecuado para prevenir cortocircuitos y contactos peligrosos. Un buen aislamiento no solo protege el equipo eléctrico, sino que también garantiza la seguridad del personal que interactúa con el sistema. Esto es fundamental para mantener la integridad del sistema eléctrico y prevenir accidentes.

Tipos de medidores (ANSI e IEC)

Los sistemas de medición de energía eléctrica emplean diversos tipos de medidores que cumplen con estándares específicos para asegurar precisión y confiabilidad. Dos de los estándares más reconocidos a nivel mundial son los de la American National Standards Institute (ANSI) y la International Electrotechnical Commission (IEC).

Aldas (2015) establece que “Los medidores ANSI son dispositivos utilizados para medir y registrar el consumo de energía eléctrica de manera precisa y confiable, siguiendo las normas y estándares establecidos por la American National Standards Institute (ANSI). Estos medidores inteligentes permiten la comunicación bidireccional entre los consumidores y las empresas distribuidoras de energía, facilitando la gestión eficiente del consumo energético, la facturación adecuada y la implementación de redes inteligentes”.

En otras palabras, los medidores ANSI no solo garantizan la precisión en las mediciones, sino que también permiten optimizar las operaciones de las redes eléctricas modernas, fomentando un manejo más eficiente y transparente del consumo de energía.

Según Ellison et al. (2012). “Los medidores IEC podrían referirse a instrumentos de medición que cumplen con los estándares y requisitos establecidos por la International Electrotechnical Commission (IEC), una organización que desarrolla normas internacionales en el campo de la electricidad, la electrónica y las tecnologías relacionadas. Estos medidores podrían utilizarse en laboratorios de calibración y pruebas para realizar mediciones precisas y confiables, siguiendo las directrices establecidas por la normativa ISO/IEC 17025 y otras guías relevantes para la expresión de la incertidumbre en la medición”.

Así, los medidores IEC no solo son utilizados en entornos operativos, sino que también desempeñan un papel esencial en entornos de prueba y calibración, asegurando la uniformidad y confiabilidad en las mediciones eléctricas a nivel internacional.

El proceso de comercialización de energía eléctrica en Nicaragua, según la Normativa de Servicio Eléctrico (2001), incluye una serie de etapas y procedimientos que aseguran el suministro adecuado y regulado de energía a los usuarios. Este marco normativo establece las condiciones para la prestación de

servicios y la relación contractual entre las empresas distribuidoras y los clientes. Se describen aspectos como las tarifas, la facturación y las obligaciones de las partes involucradas, contribuyendo así a un entorno energético estable y regulado. La normativa garantiza que las operaciones sean transparentes y que los usuarios tengan acceso a un servicio eléctrico eficiente y equitativo.

- **Lectura de Medidores:** Se realiza periódicamente por personal calificado o de forma remota mediante sistemas automatizados. La frecuencia de lectura varía según el tipo de cliente y el consumo.
- **Facturación:** Las empresas distribuidoras emiten facturas basándose en las lecturas de los medidores. La factura incluye el consumo registrado, cargos adicionales (impuestos, tasas) y el monto total a pagar.
- **Cobro:** Los usuarios pagan las facturas a través de diversos canales, como bancos, centros de pago, aplicaciones móviles o en línea. El pago oportuno es esencial para mantener el servicio activo.

Sistemas de Medición y Gestión Prepago de Energía Eléctrica

Cabrejos (2021) define que un sistema de medición y gestión prepago es un sistema en el cual los usuarios adquieren crédito de energía eléctrica de forma anticipada y luego van consumiendo ese crédito a medida que utilizan la electricidad.

Este tipo de sistema permite a los usuarios tener un mayor control sobre su consumo de energía, ya que al agotarse el crédito adquirido, el servicio se interrumpe hasta que se recargue nuevamente. Además, el sistema de medición y gestión prepago facilita la recopilación, análisis y almacenamiento de datos sobre el consumo de energía, lo que ayuda a las empresas a gestionar de manera más eficiente la distribución y facturación de la electricidad. Este enfoque también

puede contribuir a la eficiencia energética y a la reducción de costos para los usuarios, especialmente en zonas rurales o con recursos económicos limitados.

Definición y Tipos

Según Vélez (2016) existen dos tipos principales de medidores prepagos: el Medidor Prepago Bicuerpo y el Medidor Prepago Monocuerpo.

- **Medidor Prepago Bicuerpo:** Este es un medidor electrónico bicuerpo, monofásico bifilar (1 fase, 2 hilos), alimentado a 120 V y de clase 1.0, con un rango de corriente que va desde 0.04 hasta 60 amperios. Está compuesto por dos componentes principales: un dispositivo de medida, conexión y desconexión de la carga, y una interfaz de usuario. Esta configuración permite una separación física entre el dispositivo de medida, que se ubica en un lugar seguro y protegido, y la interfaz de usuario, que se instala en un lugar de fácil acceso para el consumidor.
- **Medidor Prepago Monocuerpo:** Este medidor es un dispositivo electrónico monocuerpo, también monofásico bifilar (1 fase, 2 hilos), alimentado a 120 V y de clase 1.0, con el mismo rango de corriente de 0.04 a 60 amperios. A diferencia del bicuerpo, el medidor monocuerpo está conformado por una sola pieza. Es similar a un medidor pospago, pero incluye un teclado y está diseñado para ser instalado en el interior de la casa del cliente, facilitando el acceso y la recarga de energía por parte del usuario.

Ambos tipos de medidores prepagos están diseñados para ofrecer una gestión eficiente del consumo energético, permitiendo a los usuarios controlar su gasto en electricidad y a las empresas distribuidoras gestionar mejor el suministro y la facturación del servicio.

Su funcionamiento

El medidor electrónico prepago, según Cabrejos (2021) y citando a Pascasio (2014), es un dispositivo que opera mediante el ingreso digital del cliente a través del teclado del medidor para adquirir energía de la empresa distribuidora de electricidad. Esta energía se representa en kilovatios. Así mismo, se ha citado a Pasmiño (2019) señala que su funcionamiento implica el ingreso digital de un código a través del teclado del medidor para la compra de energía, también representada en kilovatios.

Entonces, el funcionamiento del medidor prepago es relativamente sencillo: el cliente introduce un código digital que ha adquirido previamente, y el medidor registra la cantidad de energía correspondiente, permitiendo un control y una gestión efectiva del consumo por parte del usuario. Esto ofrece la ventaja de que los clientes puedan monitorear y gestionar su consumo energético, evitando sorpresas en la facturación y promoviendo un uso más consciente y eficiente de la energía eléctrica.

Ventajas y desventajas

La implementación de medidores prepagos en el sistema eléctrico presenta una serie de beneficios y desafíos tanto para las empresas distribuidoras como para los consumidores. Estos medidores, que permiten a los usuarios pagar por adelantado su consumo energético, ofrecen un mayor control sobre el gasto y previenen la acumulación de deudas. Sin embargo, también implican costos adicionales y pueden presentar barreras de acceso para ciertos grupos de la población. A continuación, se examinan las principales ventajas y desventajas de este sistema, considerando su aplicación en diferentes contextos y su impacto en diversas poblaciones.

Ventajas

- Mayor control del consumo: Los usuarios controlan su gasto energético y evitan facturas elevadas.
- Prevención de la morosidad: Se eliminan las deudas y se mejora la liquidez para las empresas distribuidoras.
- Eficiencia en la gestión: Se optimiza la distribución de energía y se reducen las pérdidas.

Desventajas

- Costos adicionales: Implementación, instalación y mantenimiento de medidores y sistemas prepago.
- Limitaciones de acceso: Dificultad de acceso para usuarios de bajos ingresos o en zonas rurales.
- Dependencia tecnológica: Riesgos asociados a fallos técnicos o interrupciones en la comunicación.

4.4 Tecnología aplicada en los Sistemas de Medición y Gestión Prepago de Energía Eléctrica

Los sistemas de medición y gestión prepago de energía eléctrica permiten a los usuarios comprar y consumir electricidad de manera controlada y eficiente. Estos sistemas integran tecnologías avanzadas para la medición precisa del consumo, la gestión de datos y la recarga remota de crédito. Su implementación busca mejorar la eficiencia del consumo eléctrico, reducir las pérdidas no técnicas y empoderar a los consumidores con un mayor control sobre su uso de energía.

Microcontrolador ESP32

Los microcontroladores son componentes esenciales en los sistemas de medición y gestión de energía prepago. Estos dispositivos integran una unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida en un solo chip, permitiendo el control y la automatización de funciones específicas. En los sistemas de medición eléctrica gestionan la recopilación de datos de consumo, el procesamiento de información y la comunicación con otros dispositivos.

El ESP32 es un microcontrolador avanzado desarrollado por Espressif Systems, conocido por su capacidad de procesamiento y conectividad inalámbrica. Este microcontrolador cuenta con un procesador dual-core, conectividad Wi-Fi y Bluetooth, y múltiples interfaces de entrada/salida, lo que lo hace ideal para aplicaciones de IoT y sistemas de medición de energía.

El lenguaje de programación es fundamental para desarrollar el software que controlará el microcontrolador. En el caso del ESP32, se utiliza el lenguaje C/C++, que permite escribir programas eficientes y de bajo nivel, necesarios para el control preciso de hardware y la gestión de tareas en tiempo real. En este medidor prepago se utilizará la plataforma Arduino IDE para desarrollar y cargar el software que controlará el ESP32, gestionando la recopilación de datos de consumo eléctrico y la comunicación con la plataforma de gestión remota.

Gestión remota del consumo energético

Las soluciones de gestión remota ofrecen a los usuarios la capacidad de monitorear y controlar su consumo energético de manera eficiente desde cualquier ubicación. A través de plataformas accesibles mediante dispositivos móviles o sitios web, los usuarios pueden recargar crédito y ajustar su consumo de acuerdo con sus necesidades. Estas plataformas están diseñadas con interfaces intuitivas, facilitando un manejo sencillo y accesible, lo que empodera a

los usuarios para tomar decisiones informadas sobre su consumo energético y optimizar sus gastos.

Se implementó una plataforma de IoT (Internet de las Cosas) que no solo recopila datos en tiempo real, sino que también ofrece visualizaciones dinámicas del consumo de energía. Esto permite a los usuarios tener un panorama claro y detallado de su uso energético. Además, para las empresas distribuidoras, esta tecnología facilitará la gestión del servicio y la interacción con los clientes. La combinación de gestión remota e IoT representa un paso significativo hacia un sistema de energía más inteligente y adaptado a las necesidades tanto de los usuarios como de las distribuidoras.

ThingSpeak fue la plataforma seleccionada para el medidor prepago de energía, tiene un servicio basado en la nube diseñado para la recopilación, análisis y visualización de datos en tiempo real. Esta herramienta es ampliamente utilizada debido a su integración sencilla con diversos dispositivos y su capacidad de proporcionar análisis detallados mediante gráficos personalizables.

Dentro de sus características principales esta la recopilación de datos en tiempo real a través de los sensores conectados con protocolos como HTTP, MQTT y REST, la visualización dinámica que ofrece herramientas graficas integradas para monitorear los datos en tiempo real con la posibilidad de configurar gráficos personalizados que se actualizan automáticamente con los datos más recientes y el almacenamiento seguro en la nube que permite a los usuarios acceder a sus datos históricos en cualquier momento, también se puede configurar para enviar notificaciones en que caso que los datos superen ciertos límites establecidos. Además, ThingSpeak es compatible con microcontroladores como el ESP32, Raspberry Pi, y Arduino, lo que lo convierte en una opción versátil para proyectos IoT.

El ESP32, fue el dispositivo utilizado para capturar los datos de los sensores de consumo energético y enviarlos a ThingSpeak, la interacción entre ellos se estableció mediante solicitudes HTTP POST, a través de las cuales el ESP32 transmitía periódicamente los datos recopilados de los sensores conectados. El ESP32 se programó para medir variables de consumo energético, como la corriente, el voltaje y la potencia activa. Estos datos eran enviados en intervalos definidos a ThingSpeak utilizando su API. Los datos enviados por el ESP32 eran recibidos y procesados por ThingSpeak casi de manera inmediata, lo que permitía a los usuarios visualizar gráficos actualizados en el panel de control.

La implementación de esta tecnología no solo beneficia a los usuarios al proporcionarles control y análisis detallado de su consumo, sino también a las empresas distribuidoras, al optimizar su capacidad de gestión del servicio.

Tabla No. 2 - Comparativa de microcontroladores y tarjetas de desarrollo para un Medidor de Energía Prepago en el sector residencial.

Dispositivo	Características	Ventajas	Desventajas
ESP-32	Microcontrolador con WiFi y Bluetooth, bajo consumo de energía, múltiples GPIOs, capacidad de procesamiento adecuada.	Conectividad inalámbrica integrada, bajo costo, gran comunidad de soporte.	Requiere programación en C/C++ o MicroPython.
Raspberry Pi	Minicomputadora con sistema operativo Linux, múltiples puertos USB, HDMI y Ethernet.	Potente capacidad de procesamiento, compatible con múltiples lenguajes de programación.	Mayor consumo energético, requiere tarjeta SD para almacenamiento.

PICs (Microcontroladores PIC)	Microcontroladores de 8, 16 y 32 bits con arquitectura RISC y periféricos integrados.	Alta eficiencia energética, optimización para aplicaciones industriales.	Programación más compleja, menor compatibilidad con conectividad inalámbrica.
Arduino (ATmega328P, ARM Cortex M0+)	Plataforma de desarrollo con microcontroladores de Atmel, fácil de programar mediante IDE Arduino.	Gran comunidad, amplia documentación, ideal para prototipos rápidos.	Menor capacidad de procesamiento en comparación con ESP-32 o Raspberry Pi.

Se ha seleccionado el **ESP-32** como dispositivo de control para el medidor eléctrico prepago debido a su equilibrio entre capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica integrada y bajo consumo energético. A diferencia de la Raspberry Pi, que requiere un sistema operativo y consume más energía, el ESP-32 es más eficiente para aplicaciones en tiempo real. Comparado con los microcontroladores PIC y las placas Arduino, el ESP-32 ofrece una integración más sencilla con redes WiFi y Bluetooth ya que estos módulos están integrados en el mismo microcontrolador, lo que facilita la implementación de sistemas de pago remoto y monitoreo en la nube. Además, su bajo costo y disponibilidad lo convierten en la mejor opción para un sistema de medición eléctrica accesible y confiable.

Componentes a utilizar

Para implementar el sistema de medición y gestión prepago de energía eléctrica, se utilizarán diversos componentes, entre ellos:

Tabla No. 3 – Funciones de cada componente en el sistema de Medición y Gestión de Energía Prepago.

Componente	Uso en el sistema
Microcontrolador ESP-32 	Unidad de procesamiento con conectividad WiFi y Bluetooth, ideal para la gestión de datos y comunicación remota del medidor.
PZMEN (Módulo de medición de energía) 	Utilizado para medir parámetros eléctricos como tensión, corriente, potencia y energía consumida. Los datos obtenidos se envían al microcontrolador para su procesamiento y visualización.
Pantalla LCD de 20x4 cm 	Empleada para mostrar información al usuario, como el consumo de energía, saldo disponible, y mensajes de alerta.

Teclado matricial de 4x3 cm 	Sirve como interfaz de entrada para que el usuario pueda ingresar datos, como el código de recarga de saldo.
LED indicadora color rojo 	Utilizada para indicar el estado de conexión y funcionamiento del sistema de medición.
Relé de estado sólido de 50 Amp 	Controla la conexión y desconexión del suministro eléctrico al usuario según el saldo disponible en el sistema prepago.

Resistencia de 1k 	Protege al LED de posibles sobre corrientes, asegurando su funcionamiento seguro y prolongado.
Base de entrada y salida de un medidor Hexing 	Utilizada para conectar el sistema al medidor de energía eléctrica y garantizar una correcta integración.
Jumper macho-hembra y hembra-hembra 	Facilitan la conexión entre los diferentes componentes del sistema, como el microcontrolador, el módulo de medición, y la pantalla LCD.
Mini protoboard 	Permite realizar conexiones temporales y pruebas del sistema sin necesidad de soldaduras, asegurando un montaje flexible y fácil de modificar.

La selección de estos componentes responde a la necesidad de diseñar un medidor eléctrico prepago funcional, preciso y de bajo costo. El microcontrolador ESP-32 permite la gestión eficiente de los datos y la comunicación remota, el sensor PZMEN proporciona datos de consumo confiables, la pantalla LCD facilita la interacción con el usuario, y el teclado permite la recarga de saldo. El relé de estado sólido garantiza una conmutación segura y eficiente de la corriente eléctrica, mientras que los jumpers y la mini protoboard simplifican la fase de pruebas y depuración. En conjunto, estos elementos forman un sistema robusto y viable para la implementación de un esquema de prepago por consumo eléctrico.

El sistema de medición y gestión prepago de energía eléctrica está compuesto por varios elementos tecnológicos clave (***Ver en Anexos 1: Hojas de datos técnicas de cada componente del sistema***), diseñados para asegurar un rendimiento eficiente y preciso. El núcleo del sistema es el microcontrolador ESP32, seleccionado por su capacidad de procesamiento y su conectividad integrada con redes Wi-Fi y Bluetooth, lo que facilita la integración con ThingSpeak. Este microcontrolador es el responsable de gestionar la recopilación de datos, la comunicación y el control del sistema.

A nivel de medición, se utilizaron sensores capaces de capturar y procesar en tiempo real los parámetros eléctricos más relevantes, como la tensión, corriente, potencia activa y energía consumida. Estos sensores están conectados directamente al ESP32, que recibe y transmite los datos para su procesamiento y almacenamiento en plataformas externas, permitiendo la visualización del consumo energético en tiempo real.

Además, se integraron módulos de comunicación inalámbrica para asegurar que el sistema sea capaz de enviar y recibir información desde plataformas web. Estos módulos permiten que los usuarios puedan interactuar con el sistema desde cualquier ubicación, dándoles acceso a la consulta de consumo de manera instantánea y remota.

Una vez elegidos los elementos que formarían parte del medidor de energía prepago, se procedió a la cotización y compra de cada uno, a continuación, se muestra una tabla con la descripción y monto:

Tabla No. 4 - Costos de materiales y mano de obra del prototipo de Medición y Gestión de Energía Prepago.

Descripción	Monto (C\$)
ESP32	480.00 C\$
Teclado matricial 20x4	90.00 C\$
Relé de estado sólido 50 Amp	800.00 C\$
LCD 20x4	400.00 C\$
PZEM 004T	520.00 C\$
Estructura PVC	459.00 C\$
Resistencia 1k	5.00 C\$
Toma corriente 15 Amp, 120 V	60.00 C\$
Rectificador y Transformador	250.00 C\$
Mano de Obra (incluye desarrollo de las pruebas en hardware, integración con ThingSpeak, construcción física del medidor e instalación en entorno residencial)	6100.00 C\$
Total	9,164.00 C\$

El prototipo tiene un costo de 9,164.00 C\$ (250 US\$ aproximadamente), cabe destacar que este es el costo de un solo ejemplar, si hubiera una producción al por mayor el costo bajaría significativamente.

5. Análisis y presentación de resultados

5.1 Metodología

El diseño metodológico representó el elemento clave de esta monografía, ya que definió los pasos, técnicas y procedimientos empleados para alcanzar los objetivos planteados. En este estudio, se llevó a cabo una secuencia estructurada de actividades que permitieron la construcción y validación del prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago'.

Después de las etapas iniciales de investigación y recolección de información, se procedió al diseño y construcción del prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago'. Este proceso siguió un enfoque iterativo, con revisiones y ajustes constantes, asegurando que el diseño final cumpliera con los requerimientos establecidos.

En primer lugar, se seleccionó el microcontrolador ESP32 como elemento central del prototipo, debido a sus capacidades de procesamiento, conectividad inalámbrica y bajo consumo energético, características fundamentales para un sistema de este tipo. Posteriormente, se integraron los sensores de consumo eléctrico, permitiendo medir con precisión el uso de energía en los hogares. Estos sensores fueron conectados al microcontrolador a través de una interfaz digital, garantizando una comunicación confiable y en tiempo real.

En paralelo al desarrollo del hardware, se diseñó la interfaz de usuario y las funcionalidades del entorno prepago. Los usuarios pueden acceder a este entorno a través de una plataforma web, donde visualizarán su consumo en tiempo real.

Una vez concluida la fase de diseño y construcción, se llevaron a cabo pruebas en un laboratorio controlado. Estas pruebas evaluaron el rendimiento, la precisión y la eficiencia del prototipo, contrastando los resultados con los requerimientos iniciales establecidos en colaboración con la empresa distribuidora.

El proceso de pruebas se realizó de manera iterativa, implementando los ajustes necesarios hasta alcanzar un diseño final robusto y confiable. De esta forma, se aseguró que el prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago cumpliera con los estándares de calidad y desempeño requeridos, alineándose con las necesidades y expectativas de la empresa distribuidora.

Este trabajo monográfico adoptó un enfoque de investigación cualitativa de carácter descriptivo. Este enfoque permitió no solo describir el desarrollo del prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago, sino también adaptar y ajustar su diseño a medida que se recopiló información clave a través de revisiones exhaustivas de la literatura y entrevistas semiestructuradas con expertos del sector.

Universo y Muestra

Dado que esta fue una monografía de desarrollo de un prototipo, no se definió un universo o muestra específicos, ya que no se realizó una implementación a gran escala. El enfoque se centró en el diseño, construcción y pruebas del prototipo en un entorno controlado de laboratorio.

Fuentes de Información

La información necesaria para el desarrollo y validación del prototipo se obtuvo a través de diversas fuentes y técnicas de recolección. Las principales fuentes de información fueron de carácter primario y secundario.

Se realizó una entrevista semiestructurada con personal clave de la empresa distribuidora de energía eléctrica, cuyo objetivo principal fue conocer a fondo el plan de pérdidas y los requerimientos específicos para un 'sistema de medición y gestión de energía prepago'.

Además, se llevó a cabo una revisión de la documentación técnica y de investigaciones previas relacionadas con 'sistemas de medición y gestión de energía prepago'. Finalmente, una vez construido el prototipo, se realizaron pruebas de funcionamiento en un entorno de laboratorio controlado. Estas pruebas incluyeron la medición del consumo eléctrico, la validación de los datos recopilados, las pruebas de comunicación inalámbrica y la simulación de escenarios de recarga y gestión de créditos de energía, permitiendo evaluar el rendimiento, la precisión y la eficiencia general del sistema desarrollado.

5.2 Análisis Técnico y Viabilidad del Sistema de Medición Prepago en Nicaragua

La implementación de sistemas de medición y gestión de energía eléctrica de tipo prepago requiere un análisis detallado de las condiciones actuales del sistema de distribución. Con este propósito, el 30 de octubre de 2024, se realizó una entrevista semiestructurada (***Ver en Anexos 2: Cuestionario para entrevista semiestructurada a Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica***) en CONTECMA, con el encargado del área de tecnología y medida, así como con el encargado del área de laboratorio. El objetivo de esta entrevista fue obtener información sobre el sistema actual de medición y facturación de energía, identificar los principales problemas relacionados con pérdidas de energía y evaluar los requisitos técnicos y normativos necesarios para implementar el sistema de medición y gestión prepago.

Para formalizar esta actividad, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) emitió una carta dirigida a la empresa de distribución, solicitando la entrevista.



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

Managua, 26 de julio de 2024

Ingeniero Humberto Reyes
Director Dissnorte-Dissur

Estimado Ing. Reyes:

Reciba un cordial saludo de parte de la Universidad Nacional de Ingeniería y de mi parte.

El motivo de la presente, es para solicitar su valioso apoyo en autorizar una visita asistida a las Instalaciones de Dissnorte-Dissur, para los Bachilleres: María José Obando Flores, carnet: 2020-0013U y Lenin Rigoberto Aguilar Pérez, carnet: 2020-0096U, quienes son egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Esto con el fin de que puedan recopilar información para su trabajo Monográfico, con el tema: **Desarrollo de un prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago utilizando el microcontrolador ESP32, e integrando conceptos de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia y precisión en la administración del consumo eléctrico en los usuarios residenciales con tarifa T0 en Nicaragua.**

Deseándole siempre éxito en el desempeño de sus funciones, me despido.

Cordialmente,

MSc. Emmanuel Canda Toledo
Dirección Específica de Mecánica y Eléctrica



Figura No. 3 – Carta de la Universidad Nacional de Ingeniería dirigida a Empresa de Distribución de Energía Eléctrica.

En cuanto a la estructura del sistema de medición y facturación actual, los entrevistados destacaron que actualmente utilizan tecnologías avanzadas, como

medidores electrónicos y bicuerpos, los cuales permiten realizar mediciones automatizadas y transmisiones de datos por radiofrecuencia. Sin embargo, explicaron que aún se emplean métodos híbridos que combinan lecturas manuales y automáticas (**Ver en Anexos 3: Medidor Electromecánico**).

Además, se destacó que los medidores bicuerpos han sido una solución eficaz para automatizar la facturación, facilitar la recuperación de medidores con fallas o fraudes, y reducir el trabajo operativo (**Ver en Anexos 4: Medidor Bicuerpos**). También mencionaron que los medidores multifuncionales poseen capacidades avanzadas, como la medición de consumo cada 15 minutos y la gestión de generación distribuida, y que, con configuraciones específicas, podrían ser compatibles con sistemas de energía prepago.

Respecto a las pérdidas de energía, se identificaron como principales problemas las pérdidas técnicas, que incluyen el sobrecalentamiento o sobrecarga de transformadores (**Ver en Anexos 5: Transformador de Corriente**) y el consumo no registrado en el lado de alta tensión, y las pérdidas no técnicas, como conexiones ilegales o errores en la facturación. La empresa ha implementado diversas estrategias para mitigar estas pérdidas, como el uso de transformadores codificados y sistemas de monitoreo detallado, así como la recuperación de energía basada en análisis históricos de consumo. Además, los medidores que llegan manipulados, quemados o con otros daños son analizados cuidadosamente para determinar si pueden ser reparados, descartados o eliminados, dependiendo de su estado y viabilidad técnica (**Ver en Anexos 6: Proceso de descarte de Medidores**). A pesar de estos esfuerzos, persisten retos significativos, especialmente en áreas donde las pérdidas son más elevadas (**Ver en Anexos 7: Bastidores**).

Ambos entrevistados coincidieron en que los sistemas de medición prepago son viables para el contexto actual, siempre que se realicen ajustes normativos y técnicos. Identificaron como requisitos clave la incorporación de medidores

similares a los bicuerpos con capacidad de comunicación en tiempo real y monitoreo remoto, la instalación de redes de comunicación que permitan una gestión centralizada y la inclusión de políticas específicas para sistemas prepago en la regulación del servicio eléctrico, supervisadas por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE). También discutieron los beneficios potenciales de esta tecnología, como fomentar la cultura de ahorro energético y mejorar el control de las pérdidas.

El recorrido por los laboratorios proporcionó información relevante sobre las pruebas realizadas a los medidores, fundamentales para garantizar su precisión y confiabilidad.



Figura No. 4 – Prueba de patrón a Medidores.

Durante la visita, se explicó el proceso de pruebas de patrón que se realiza en colaboración con el INE, utilizando parámetros normativos para verificar los

márgenes de error aceptables de los medidores. También se describieron las pruebas de arranque y vacío, que evalúan la protección y funcionalidad electrónica de los dispositivos, así como las pruebas de rigor aplicadas a los nuevos medidores antes de su adquisición, con el objetivo de garantizar que cumplan con los estándares de calidad requeridos.

En síntesis, los resultados de la entrevista y el análisis técnico realizado demuestran que la tecnología prepago es compatible con el sistema actual de distribución eléctrica en Nicaragua. Sin embargo, para su implementación es imprescindible realizar modificaciones en la normativa del servicio eléctrico, incorporando disposiciones específicas para este tipo de medidores. Además, se destacó que la tecnología prepago puede fomentar una cultura de ahorro energético entre los usuarios y proporcionar un mayor control sobre las pérdidas de energía. Por último, el recorrido por los laboratorios ofreció una base técnica sólida para planificar un proyecto piloto en zonas prioritarias, y resaltó la importancia de coordinar con organismos como el INE para realizar pruebas de verificación en base a los estándares establecidos.

5.3 Normativas Técnicas del Prototipo de Medidor de Energía Prepago

El desarrollo de un prototipo de medición y gestión de energía prepago requiere garantizar la precisión, confiabilidad y adecuación en su funcionamiento, lo cual es indispensable para su implementación en entornos residenciales. Este enfoque está respaldado por normativas internacionales que establecen estándares técnicos rigurosos para garantizar su funcionalidad.

Para este prototipo, se seleccionaron normativas clave que regulan tanto la construcción como la operación de medidores eléctricos. Entre estas normativas destacan ANSI NEMA C12.1-2014 y ANSI NEMA C12.20-2015 (**Ver en Anexos 8: Normativas ANSI**), así como las normas IEC 62052-11, IEC 62053-22 e IEC 62057-1 (**Ver en Anexos 9: Normativas IEC**). Estas regulaciones proporcionan

un marco técnico que asegura un desempeño óptimo del prototipo, siendo la clase de precisión 0.5S el estándar seleccionado por su balance entre costo y confiabilidad.

Las normativas ANSI, predominantes en Norteamérica, ofrecen lineamientos sobre diseño básico y pruebas de precisión, mientras que las normativas IEC, reconocidas globalmente, introducen directrices más avanzadas para la interoperabilidad con redes inteligentes. En este contexto, la combinación de ambas permite desarrollar un sistema robusto, preciso y preparado para aplicaciones modernas en sistemas eléctricos.

La normativa IEC 62053-22 fue seleccionada como base para garantizar la precisión en la medición de energía activa. Esta normativa, reconocida internacionalmente, asegura que los medidores puedan operar bajo condiciones complejas, como cargas no lineales y presencia de armónicos, lo cual es crucial para garantizar la fiabilidad en la facturación y el monitoreo en tiempo real. Adicionalmente, la clase de precisión 0.5S establece un margen de error del 0.5%, considerado adecuado para aplicaciones residenciales y comerciales.

Por otro lado, la normativa IEC 62057-1 introduce lineamientos para el desarrollo de Unidades de Medición Avanzada (MTUs), que integran sensores modernos y comunicación en tiempo real. Esta normativa es esencial para incorporar capacidades avanzadas de monitoreo y gestión remota, elementos clave en sistemas prepago-modernos. Su enfoque en la conectividad con plataformas IoT, como ThingSpeak, asegura que el prototipo pueda interactuar con redes inteligentes y ofrecer funcionalidades innovadoras para los usuarios finales.

La combinación de estas normativas responde a dos necesidades fundamentales: garantizar mediciones confiables y precisas mediante IEC 62053-22, y desarrollar un sistema con capacidades avanzadas de gestión y monitoreo gracias a IEC 62057-1. Este enfoque asegura que el prototipo cumpla con los requerimientos

técnicos actuales y esté preparado para los desafíos futuros del mercado energético.

Para validar el prototipo, se utilizó el patrón verificador ZERA MT310⁴, un equipo certificado que asegura que las mediciones cumplen con los estándares técnicos establecidos por la Normativa de Servicio Eléctrico y las normativas internacionales seleccionadas.



Figura No. 5 – Patrón Verificador ZERA

El ZERA MT310 destaca por su alta precisión, capaz de medir errores con una exactitud de hasta el 0.1%. Es compatible con medidores monofásicos y trifásicos, y soporta un amplio rango de corrientes de prueba. Además, su conectividad avanzada permite monitoreo remoto, lo que facilita la validación en entornos controlados y asegura la confiabilidad de los resultados obtenidos.

⁴ En el subcapítulo 5.5 se detalla el proceso de la prueba.

El proceso de validación se realizó en tres etapas principales:

1. Preparación: Se configuraron los parámetros del medidor y se conectó al patrón ZERA MT310, seleccionando condiciones de prueba como carga resistiva y constante Kh.
2. Prueba de Precisión: Se evaluó la medición de energía activa bajo diferentes condiciones de carga, incluyendo fluctuaciones.
3. Validación: Los resultados obtenidos se compararon con los valores de referencia establecidos en las normativas seleccionadas, asegurando el cumplimiento de la clase de precisión 0.5S.

Este procedimiento permitió verificar que el prototipo cumple con los requisitos técnicos necesarios para su implementación en sistemas eléctricos modernos, garantizando mediciones confiables y precisas.

El desarrollo del prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago se fundamenta en un marco normativo sólido que asegura tanto la precisión técnica como las capacidades avanzadas de gestión. La selección de las normativas IEC 62053-22 e IEC 62057-1 garantiza un diseño equilibrado, combinando estándares de medición rigurosos con funcionalidades inteligentes como monitoreo remoto y conectividad IoT.

La validación mediante el patrón verificador ZERA MT310 confirma que el prototipo cumple con los requisitos técnicos establecidos, asegurando su confiabilidad y preparación para ser evaluado en condiciones reales. Este enfoque integral, basado en documentación normativa y pruebas rigurosas, proporciona una base técnica sólida para el desarrollo de un sistema innovador, eficiente y alineado con las necesidades del mercado y de los usuarios finales.

5.4 Construcción del Prototipo de Medidor de Energía Prepago

El desarrollo del prototipo de medición y gestión de energía prepago siguió un enfoque metodológico que incluyó desde la selección de componentes, calibración individual, integración del hardware con el software, y pruebas piloto, hasta la implementación de un sistema funcional que satisface los requisitos establecidos en la Normativa de Servicio Eléctrico. Este apartado detalla cada etapa, los resultados obtenidos y la evaluación de su comportamiento en condiciones reales de operación.

La construcción inició con la selección de componentes principales, destacando la unidad central de procesamiento ESP32, el sensor PZEM-004T, la pantalla LCD 20x4, el teclado matricial 4x3, un relé de estado sólido y un LED indicador de impulsos. Cada componente fue calibrado y sometido a pruebas específicas para garantizar su funcionalidad y precisión **(Ver en Anexos 10: Pruebas de calibración a cada componente)**.

Posteriormente se diseña el diagrama de bloques del prototipo ilustrando de manera clara la interacción entre los componentes principales del sistema, organizados en tres etapas fundamentales: entradas, procesamiento y salidas.

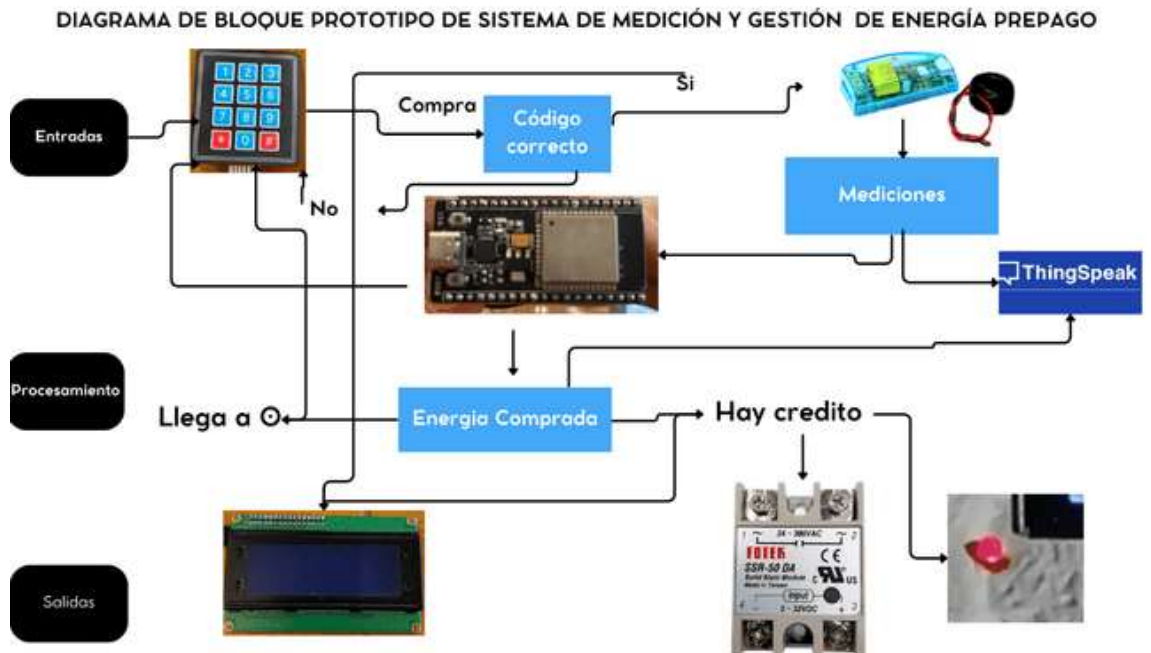


Figura No. 6 – Diagrama de bloques del prototipo de Sistema de Medición y Gestión de Energía Prepago.

En la sección de entradas, se encuentran el teclado matricial y el sensor PZEM-004T, los cuales constituyen los puntos iniciales de interacción y medición. El teclado permite al usuario ingresar códigos de compra, los cuales son validados por el sistema. Si el código es correcto, se activa el registro de la energía comprada. Paralelamente, el sensor PZEM-004T realiza mediciones precisas de los parámetros eléctricos, como voltaje, corriente y potencia.

En la etapa de procesamiento, el microcontrolador ESP32 actúa como el núcleo central del sistema. Este dispositivo integra las señales de entrada y realiza las operaciones necesarias para gestionar la energía comprada. Además, verifica si hay créditos disponibles y regula la operación del sistema, controlando tanto el suministro eléctrico como la generación de datos para el monitoreo remoto. En esta etapa, se establece también la comunicación con la plataforma ThingSpeak, enviando en tiempo real los datos de consumo energético y estado del sistema.

Finalizando con en la etapa de salidas, el sistema presenta tres componentes principales: la pantalla LCD, el relé y el LED de impulsos. La pantalla LCD

proporciona al usuario una visualización clara de los parámetros eléctricos y la energía restante, mientras que el relé controla el suministro eléctrico, habilitándolo o deshabilitándolo según los créditos disponibles. Por último, el LED de impulsos genera señales visuales representativas del consumo energético, configurado con un parámetro Kh de 2560 impulsos por kilovatio-hora, asegurando precisión dentro de los márgenes establecidos por la normativa (**Ver en Anexos 11: Código de programación**).

Siguiendo lo establecido en el diagrama de bloques, el ESP32 como unidad central fue configurado para integrar los demás elementos mediante pines específicos. Por ejemplo, la comunicación UART con el sensor PZEM se realizó a través de los pines GPIO 17 y 16, mientras que la pantalla LCD utilizó la interfaz I2C conectada a los pines GPIO 21 y 22. Adicionalmente, el GPIO 19 controló el relé, y el GPIO 23 se destinó al LED de impulsos, configurado con un parámetro Kh de 2560 imp/kWh para representar el consumo en tiempo real. Estas configuraciones cumplieron con el margen de error de $\pm 2\%$ establecido en la normativa eléctrica.

```
    accumulatedImpulses += energyConsumed * 100;
    while (accumulatedImpulses >= 1.0) {
        digitalWrite(pinLedImpulso, HIGH);
        delay(50);
        digitalWrite(pinLedImpulso, LOW);
        accumulatedImpulses -= 1.0;
    }
```

Figura No. 7 - Código para mostrar los impulsos a través del led rojo de acuerdo con los kWh consumido.

En cuanto al sensor PZEM-004T, las pruebas incluyeron la medición de parámetros eléctricos bajo condiciones controladas. Se emplearon cargas fijas, como bombillos de 10 W, y cargas fluctuantes, como una plancha eléctrica de

1200 W, comparando los resultados con un multímetro para verificar su precisión. La pantalla LCD, configurada con la dirección I2C (0x27), mostró lecturas en tiempo real de voltaje, corriente, potencia, energía acumulada y energía restante, facilitando el monitoreo local del sistema.

El teclado matricial fue probado para validar la funcionalidad de sus teclas, asignando códigos específicos para realizar acciones como recargar energía y simular cortes de suministro mediante un paro manual.

```
if (key == '0') { // Reinicio manual si se presiona '0'
    resetearEnergiaComprada();
}
```

Figura No. 8 - Código para el reinicio manual.

Estas acciones fueron respaldadas por códigos de programación integrados en el ESP32. Por su parte, el relé y el LED se calibraron para activar y desactivar el suministro eléctrico según las recargas realizadas y el consumo registrado, asegurando un control preciso del sistema.

El sistema prepago se diseñó con base en el pliego tarifario vigente, configurando códigos que permitieran la compra de diferentes cantidades de energía: 25 kWh, 50 kWh, 100 kWh y 150 kWh, además de un código especial de 2 kWh destinado a pruebas rápidas. Este esquema se justificó en el contexto de los subsidios tarifarios establecidos en la normativa, orientándose hacia usuarios residenciales que consumen hasta 150 kWh, quienes se benefician de dichos subsidios. Esta configuración también asegura que el sistema pueda adaptarse a futuros cambios regulatorios y convertirse en una solución eficiente para la gestión energética.

```

struct Code {
    String code;
    float kWh;
};

Code codes[] = {
    {"12345", 25},
    {"42356", 50},
    {"29344", 100},
    {"31593", 150},
    {"32595", 2}
};

```

Figura No. 9 - Código que detalla la clasificación de compra de energía según kWh.

La funcionalidad remota se logró mediante la integración con la plataforma ThingSpeak. Se creó un canal configurado con campos específicos para registrar y monitorear parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia, energía acumulada y energía restante.

```

ThingSpeak.setField(1, voltage);
ThingSpeak.setField(2, current);
ThingSpeak.setField(3, power);
ThingSpeak.setField(4, energyAccumulator);
ThingSpeak.setField(5, energyRemaining);
thingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);

```

Figura No. 10 - Código para registrar los parámetros eléctricos.

El ESP32, aprovechando su conectividad Wi-Fi, transmitió estos datos en tiempo real al canal de ThingSpeak, permitiendo a los usuarios acceder a la información desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Este enfoque no solo facilita el monitoreo remoto, sino que también sienta las bases para una gestión automatizada de la energía en entornos residenciales.

The screenshot shows the 'Channel Settings' page for a ThingSpeak channel. The channel name is 'MEDIDOR PREPAGO DE ENERGIA ELECTRICA' and the ID is 2725881. The page includes tabs for 'Private View', 'Public View', 'Channel Settings', 'Sharing', 'API Keys', and 'Data Import / Export'. The 'Channel Settings' tab is active, showing fields for Name, Description, and six data fields. The first five fields are enabled and contain the following values: 'Voltaje', 'Corriente', 'Potencia', 'Lectura', and 'Energía restante'. The sixth field is disabled. On the right, there is a 'Help' section with instructions on how to use the channel settings.

ThingSpeak™ Channels Apps Devices Support

MEDIDOR PREPAGO DE ENERGIA ELECTRICA

Channel ID: 2725881
Author: mwa0000035347334
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Channel Settings

Percentage Complete: 30%

Channel ID: 2725881

Name: MEDIDOR PREPAGO DE ENERGIA ELECTRICA

Description:

Field 1: Voltaje ☒

Field 2: Corriente ☒

Field 3: Potencia ☒

Field 4: Lectura ☒

Field 5: Energía restante ☒

Field 6: ☐

Help

Channels store all the data that a Thing can hold any type of data, plus three fields in a channel, you can use ThingSpeak.

Channel Settings

- **Percentage complete:** Calculated name, description, location, URL.
- **Channel Name:** Enter a unique name.
- **Description:** Enter a description.
- **Fields:** Check the box to enable it up to 6 fields.
- **Metadata:** Enter information about the channel.
- **Tags:** Enter keywords that identify the channel.
- **Link to External Site:** If you have a website, specify the URL.
- **Show Channel Location:**
 - **Latitude:** Specify the latitude of London is 51.5072.

Figura No. 11 - Configuraciones del canal en ThingSpeak.

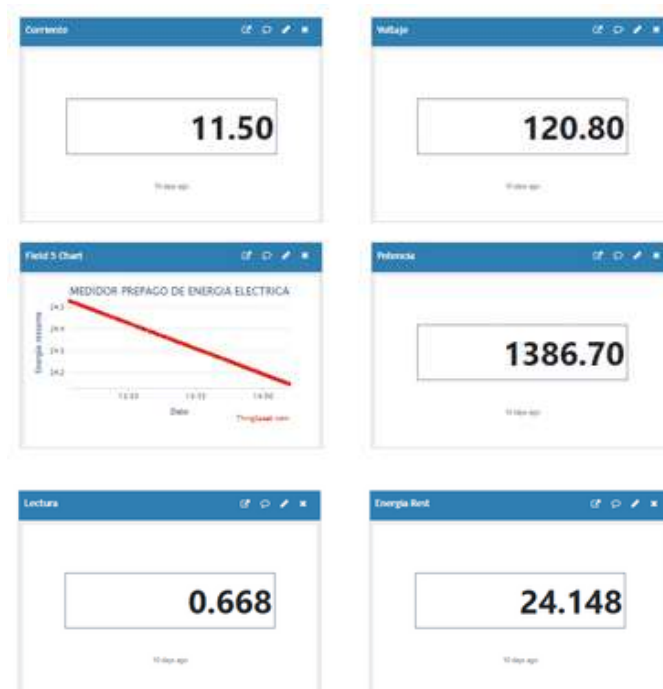


Figura No.12 - Visualización de los datos registrados en el medidor para el usuario.

Luego, las pruebas piloto incluyeron la conexión de diversas cargas, como bombillos de 10 W y planchas eléctricas de 1.2 kW, para evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de consumo. Se realizaron simulaciones de recargas con códigos preestablecidos, incluyendo el código de 2 kWh, para verificar la precisión del sistema al registrar el consumo y ejecutar cortes automáticos mediante el relé al agotarse la energía comprada. También se probó la función de paro manual mediante el teclado matricial, confirmando su efectividad para restablecer los créditos de energía a cero.

El LED indicador de impulsos, configurado con el parámetro Kh de 2560 imp/kWh, generó pulsos visibles durante las pruebas, representando el consumo en tiempo real. Esta funcionalidad permitió validar la precisión del sistema dentro del margen aceptado, demostrando su confiabilidad para mediciones residenciales (**Ver en Anexos 12: Prueba piloto**).

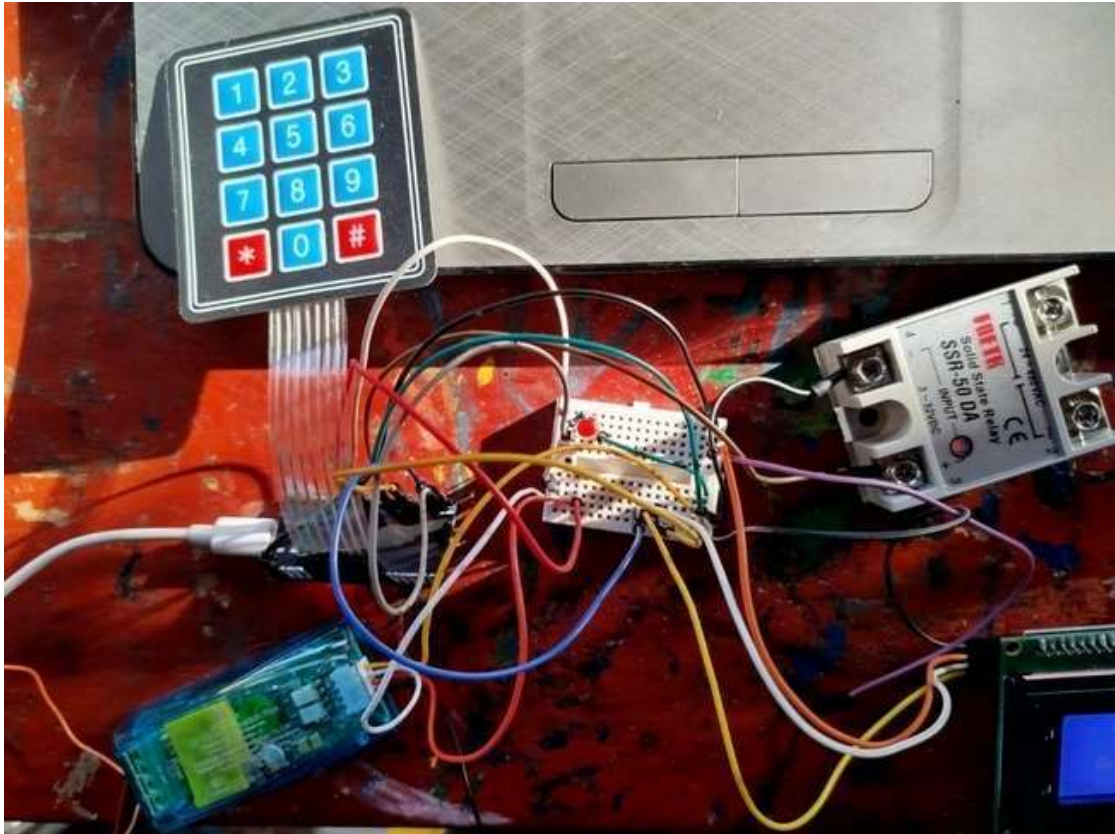


Figura No. 13 – Prueba piloto.

El diseño final integró todos los componentes en una estructura compacta y funcional, utilizando una caja de PVC con cortes precisos para alojar el teclado matricial, la pantalla LCD y los terminales de entrada y salida de corriente (**Ver en Anexos 13: Diseño final del Medidor de Energía Prepago**). Este ensamblaje no solo asegura la protección de los componentes electrónicos, sino que también facilita su manipulación y transporte para pruebas en campo.



Figura No. 14 – Diseño final de Medidor de Energía Prepago.

5.5 Pruebas en Laboratorio de Máquinas Eléctricas

La realización de pruebas al prototipo del sistema de medición y gestión de energía prepago en un entorno controlado es esencial para validar su funcionalidad y asegurar su fiabilidad. El Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la UNI, con su infraestructura adecuada y recursos como fuentes de alimentación, transformadores y diversas cargas, proporciona un ambiente ideal para la ejecución de estas pruebas. Este entorno permite simular condiciones cercanas a las que el prototipo enfrentará en aplicaciones reales, lo que facilita la evaluación de su capacidad para medir parámetros eléctricos y gestionar el consumo de energía en diferentes escenarios. Además, el laboratorio posibilita comparaciones directas con equipos de referencia como el multímetro Fluke, lo que garantiza la precisión de las mediciones y la correcta operación del sistema.

Para acceder al laboratorio, fue necesario realizar un proceso formal que incluyó la redacción de una carta de solicitud dirigida a la autoridad correspondiente, solicitando la autorización para llevar a cabo las pruebas necesarias (**Ver en Anexos 14: Carta de solicitud de pruebas en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas**). Esta solicitud fue aprobada y, en consecuencia, se coordinó con la encargada del laboratorio, la Br. Shelsea José Rodríguez, quien brindó su apoyo durante el proceso. Se estableció unas horas de trabajo para un único día debido a que el laboratorio se encuentra ocupado la mayor parte del tiempo para uso de clases prácticas por los estudiantes de ingeniería eléctrica, es así como se optimizó el tiempo disponible y se aprovechó al máximo los recursos del laboratorio.

Debido a la capacidad limitada de la fuente de alimentación del laboratorio (10 A - 127 V AC), se utilizó una configuración que permitió optimizar el uso de los recursos disponibles sin exceder sus capacidades. La salida de 127 V AC de la fuente del laboratorio se conectó directamente a la entrada del prototipo (**Ver en Anexos 15: Fuente de energía**), y para facilitar la conexión de las cargas, se instaló un tomacorriente en la salida del sistema. Para las cargas que requerían una mayor tensión, se empleó un transformador de potencial con una entrada de 120 V AC y una salida de 220 V AC, con una capacidad máxima de 1000 VA, lo que permitió alimentar cargas más exigentes sin superar los límites de la fuente de alimentación (**Ver en Anexos 16: Transformador**). En cuanto a la configuración del prototipo, se realizó una compra inicial de 2 kWh específicamente para las pruebas y se configuró el sistema para registrar la energía acumulada, lo que facilitó la comparación con la energía adquirida (**Ver en Anexos 17: Proceso de conexión y compra**).

Las cargas utilizadas en las pruebas incluyeron tanto cargas simples como de mayor demanda. En el caso de las cargas simples, se utilizaron dispositivos representativos del consumo típico en un hogar, como bombillos de 9 watts con tensión de 85-220 voltios, cargadores de celular y computadoras portátiles. Estas

cargas permitieron simular el consumo de energía común en un entorno residencial. Para evaluar el rendimiento del prototipo bajo condiciones más complejas, se emplearon motores monofásicos conectados a la salida del transformador. El motor 1 tiene una potencia de 100 watts en una tensión de 220 voltios a 1.4 amperes y el motor 2 tiene las mismas características que el motor 1 en voltaje, pero con una potencia de 1000 watts y una corriente de 7.5 amperes. Estos motores generaron cargas inductivas que introdujeron variaciones en la corriente y la potencia, lo que permitió evaluar la capacidad del prototipo para medir de manera precisa en condiciones dinámicas y complejas, como las que se experimentan en entornos industriales o con herramientas eléctricas.

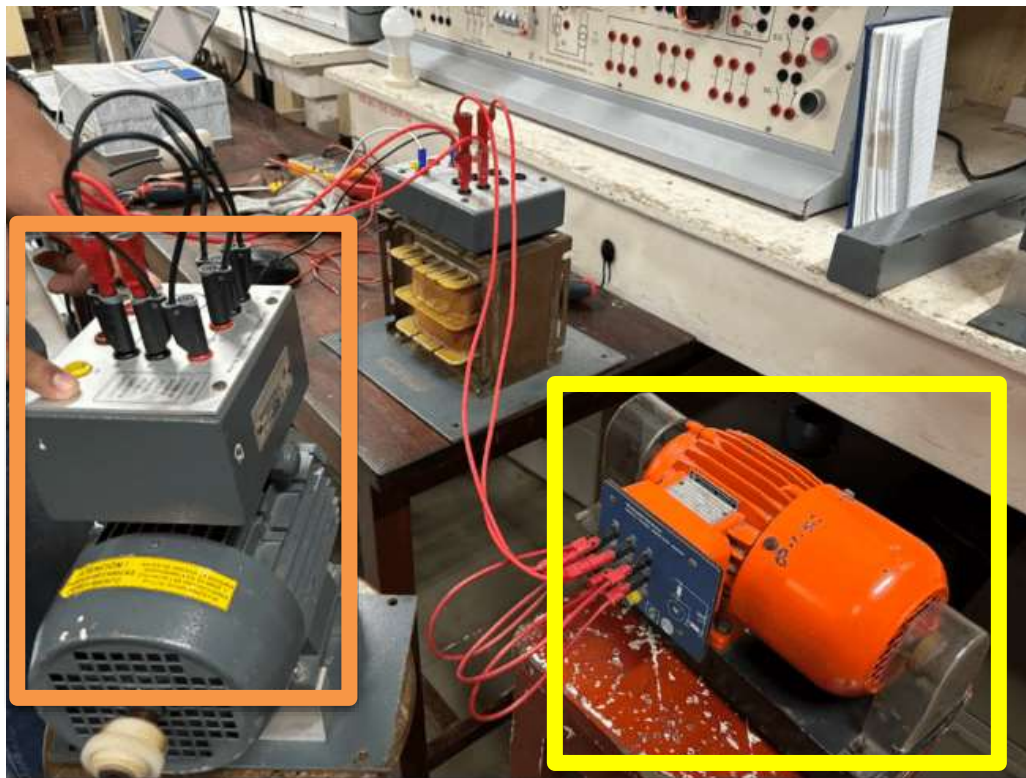


Figura No. 15 - Carga 3 y 4 (Motor 1 color amarillo y Motor 2 color naranja).

Las mediciones obtenidas por el prototipo fueron comparadas con las realizadas por un multímetro Fluke (**Ver en Anexos 18: Multímetro FLUKE**), considerado un equipo de referencia por su alta precisión. Durante las pruebas, se evaluaron parámetros como el voltaje, la corriente, la potencia y la energía acumulada. En

cada escenario de prueba, el prototipo registró los datos, mientras que el multímetro Fluke tomó mediciones en tiempo real de los mismos parámetros. Los resultados fueron comparados para verificar la exactitud del sistema y detectar posibles discrepancias (**Ver en Anexos 19: Comparación de lectura con respecto al medidor**). Este proceso de comparación es crucial para validar la precisión del prototipo, asegurando que los datos registrados sean fiables y consistentes.

A continuación, se presenta la tabla con los resultados comparativos de las mediciones del prototipo y del multímetro Fluke:

Tabla No. 5 - Resultados de las mediciones del prototipo y multímetro Fluke.⁵

Carga	Parámetro	Medición Prototipo	Medición Multímetro	Diferencia
Carga 1: Cargador de Celular	Voltaje (V)	124.2	123.3	1%
	Corriente (A)	0.39	0.3	0%
	Potencia (W)	31.4	36.99	-6%
Carga 2: Bujía (Ver en Anexos 20)	Voltaje (V)	122.6	122.9	0%
	Corriente (A)	0.95	0.072	1%
	Potencia (W)	8.9	8.8488	0%
Carga 3: Motor 1 (Ver en Anexos 21)	Voltaje (V)	122.7	122.5	0%
	Corriente (A)	0.95	0.9	0%
	Potencia (W)	116.565	110.25	6%
Carga 4: Motor 2 (Ver en Anexos 22)	Voltaje (V)	121.9	121.5	0%
	Corriente (A)	3.93	3.9	0%
	Potencia (W)	479.067	473.85	5%
Carga 5: Motor 1 y Motor 2.	Voltaje (V)	122.4	122.3	0%
	Corriente (A)	4.41	4.3	0%
	Potencia (W)	539.784	525.89	14%

Los resultados obtenidos de las mediciones fueron analizados para determinar la consistencia y precisión del prototipo en comparación con el multímetro Fluke⁶.

⁵ Los resultados presentan las mediciones de una única prueba realizada a cada una de las cargas utilizadas medidas tanto por el prototipo como el multímetro Fluke.

⁶ Se realizó la comparación de dos únicos resultados debido al factor de disponibilidad del Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Estos resultados nos llevaron a una primera corrección, la cual fue cambiar el tiempo de actualización en el que se muestran los resultados en la pantalla LCD. En la tabla de resultados comparativos, se observó que las mediciones del prototipo coincidían estrechamente con las realizadas por el multímetro con una diferencia promedio de menos del 1% en la mayoría de los parámetros evaluados. Esto valida la precisión del sistema y confirma su capacidad para operar de manera fiable en condiciones de carga tanto simples como complejas. El desempeño del prototipo se mantuvo estable, incluso cuando se conectaron los motores y las cargas más exigentes. Además, la medición acumulada del prototipo coincidió con la energía comprada, lo que garantizó la integridad de los datos recopilados.

El sistema de corte de energía fue evaluado durante las pruebas para validar su funcionamiento. Al agotarse los 2 kWh adquiridos, el sistema activó automáticamente el relé, interrumpiendo el suministro eléctrico de acuerdo con la configuración del modelo prepago. Este corte también pudo ser activado manualmente durante las pruebas (**Ver en Anexos 23: Corte manual de la energía**), lo que demostró que el sistema tiene un control eficaz sobre el consumo de energía, promoviendo el uso responsable y evitando el consumo excesivo no pagado. El corte de energía también ayuda a proteger los circuitos y dispositivos conectados, previniendo posibles sobrecargas y garantizando un modelo de consumo transparente para el usuario.

Las pruebas realizadas en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la UNI sugieren que el prototipo está listo para ser probado en entornos reales (**Ver en Anexos 24: Pruebas en Laboratorios UNI finalizadas**).

5.6 Pruebas en Instituto Nicaragüense de Energía

Con el propósito de verificar la precisión y el desempeño del prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago, se llevó a cabo una prueba en las instalaciones del Instituto Nicaragüense de Energía (INE). Este organismo,

como ente regulador del sector energético en Nicaragua, garantiza que los medidores eléctricos en uso cumplan con los estándares técnicos establecidos en la Normativa de Servicio Eléctrico (N.S.E). Para ello, el INE realiza inspecciones y ensayos con equipos especializados que permiten clasificar los medidores como operativos o fuera de servicio, según su nivel de precisión y funcionalidad.

Previo a la realización de la prueba, fue necesario gestionar los permisos correspondientes para el acceso a las instalaciones del INE y al equipo especializado requerido. También, se investigó sobre los procedimientos estándar para la verificación de medidores eléctricos y se identificó el uso del Patrón Verificador ZERA MT310, un dispositivo certificado que permite realizar pruebas de alta precisión a diferentes tipos de medidores.

Se elaboró una carta de solicitud dirigida al Área de Atención al Consumidor (DAC) del INE, la cual es responsable de la ejecución de estas pruebas tanto en campo como en laboratorio.

13 de noviembre, 2024

Managua, Nicaragua

Ing. Eudilia de los Ángeles Rodríguez Laguna

Coordinadora Inspecciones DAC

Instituto Nicaragüense de Energía

Estimada Ing. Rodríguez

Espero que se encuentre bien. Me dirijo a usted con el fin de solicitar realizar prueba con el Patron Verificador Zera el día viernes 15 de noviembre de 2024. Este equipo es crucial para llevar a cabo pruebas relacionadas con nuestro trabajo monográfico titulado "Desarrollo de un prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago utilizando el microcontrolador ESP32 e integrando conceptos del Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia y precisión en la administración del consumo eléctrico en los usuarios residenciales con tarifa T0 en Nicaragua".

Las pruebas que planeamos realizar son fundamentales para el análisis y la presentación de resultados de nuestro trabajo monográfico, y consideramos que el Patron Zera es el equipo adecuado para ello. Apreciaríamos enormemente si pudiera facilitar el apoyo de un inspector técnico que esté de turno ese día para asegurar que podamos llevar a cabo las pruebas de manera efectiva y segura.

Agradezco de antemano su atención a esta solicitud y quedo a la espera de su pronta respuesta.

Atentamente,


María José Obando Flores



Lenin Rigoberto Aguilar Pérez



Figura No. 16 – Carta de solicitud para realizar la prueba correspondiente al prototipo dirigida al Instituto Nicaragüense de Energía.

La solicitud fue aprobada, asignando al inspector Andrés Solís para supervisar la prueba, bajo la coordinación de la ingeniera Eudilia de los Ángeles Rodríguez Laguna, responsable del Área de Inspecciones del DAC.

Posteriormente la prueba se desarrolló siguiendo los procedimientos técnicos establecidos para garantizar la validez de los resultados. A continuación, se describe el proceso en detalle:

1. Conexión Inicial:

- a. Se conectó el Patrón Verificador ZERA MT310 al prototipo de medidor prepago.

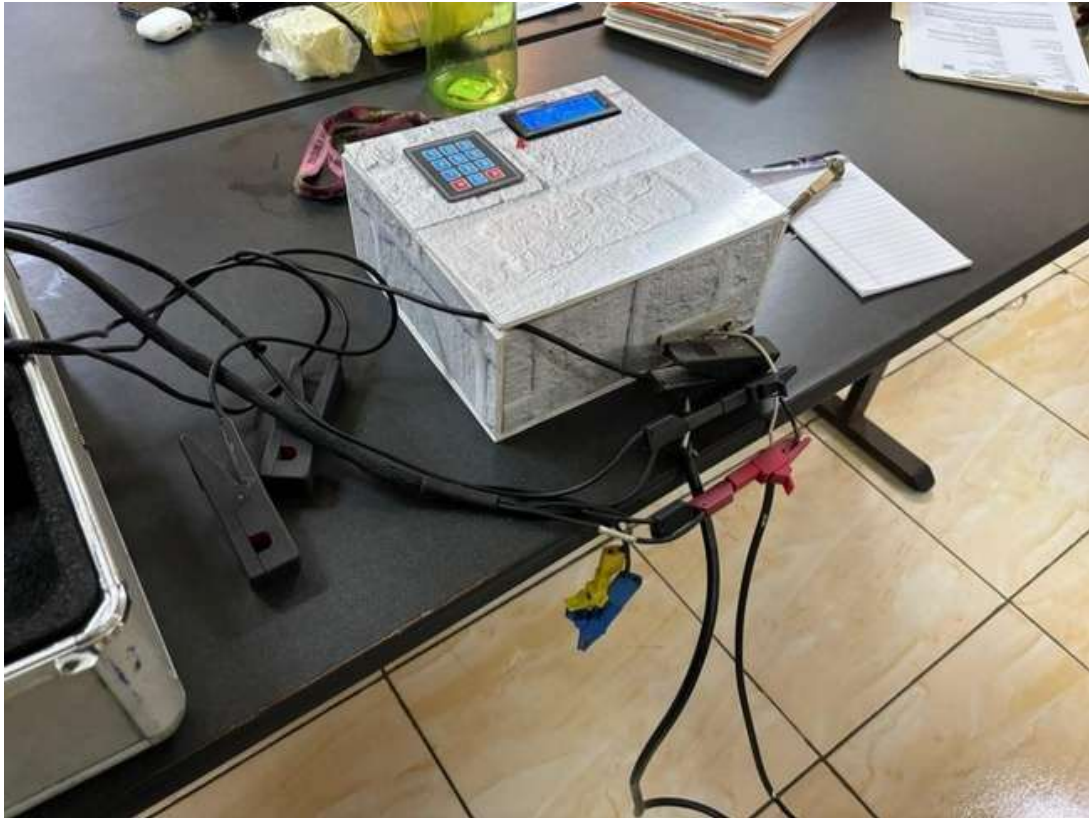


Figura No. 17 – Medidor de energía prepago conectado a Patrón ZERA.

- b. Se configuró el valor de la constante $K_h = 2560 \text{ imp/kWh}$, correspondiente al prototipo evaluado.
- c. Los terminales de fase y neutro del prototipo fueron conectados a través de dos lagartos, mientras que una bobina de corriente fue utilizada para censar la corriente en la fase. Adicionalmente, se utilizó un sensor óptico para registrar los pulsos emitidos por el LED del medidor.

2. Carga Utilizada:

- a. Para las pruebas se empleó una carga resistiva de 1.4 kW, tal como lo permiten los estándares para la realización de este tipo de ensayos (**Ver en Anexos 25: Carga conectada para la prueba**).

3. Registro de Datos:

- a. El Patrón Verificador ZERA midió y registró los valores de voltaje, corriente y potencia emitidos por el prototipo (**Ver en Anexos 26: Comparación de las mediciones del patrón ZERA con el Medidor de Energía Prepago**).

Estos datos fueron comparados con las lecturas obtenidas directamente del patrón, a fin de determinar si el medidor se encontraba dentro de los rangos permitidos por la normativa. Durante la prueba se llevaron a cabo tres ensayos consecutivos para evaluar el desempeño del prototipo, obteniendo los siguientes resultados:

- Ensayo #1: Error = 0.09%.
- Ensayo #2: Error = 0.52%.
- Ensayo #3: Error = 0.88%



Figura No. 18 – Resultado del Ensayo #3 realizado por el Patrón ZERA.

El análisis de estos resultados arrojó un error promedio de 0.496%, lo cual se encuentra dentro del rango permitido de $\pm 2\%$ establecido en la Normativa de Servicio Eléctrico (N.S.E).

Durante la prueba, se obtuvieron los siguientes datos relevantes:

Tabla No. 6 – Datos relevantes durante la prueba con el Patrón ZERA.

Parámetro	Valor Obtenido
Corriente Fase (Ia)	11.733 A
Corriente Neutro (In)	11.773 A
Voltaje (Van)	118.74 V
Potencia Activa (P)	1.390 kW
Potencia Aparente (S)	1.393 kVA
Factor de Potencia (FP)	0.99

Una vez finalizada la prueba, el inspector a cargo procede a redactar el acta de inspección la cual es un documento oficial que registra los procedimientos, resultados y observaciones realizadas durante las pruebas técnicas efectuadas al prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago. Este documento, emitido por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE), tiene como objetivo garantizar que el dispositivo cumpla con los estándares de calidad y precisión exigidos por la Normativa de Servicio Eléctrico (N.S.E).

El acta de inspección sirve como respaldo técnico y legal de que el prototipo ha sido evaluado bajo condiciones controladas utilizando equipos certificados. En este caso, las pruebas fueron realizadas con el Patrón Verificador ZERA MT310, equipo especializado para validar medidores eléctricos. Este proceso asegura que el dispositivo cumple con los márgenes de error permitidos ($\pm 2\%$) y confirma su viabilidad para uso en aplicaciones residenciales bajo la tarifa T0. Adicionalmente, al ser un documento oficial emitido por el ente regulador del sector energético en

Nicaragua, el acta aporta legitimidad al proyecto, sirviendo como evidencia ante organismos gubernamentales, socios técnicos o potenciales usuarios del sistema

ine INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
 HOJA DE INSPECCIÓN N° 166593
 Pág. 1

RAZÓN SOCIAL: _____ NIS: _____
 Hora Inicio: 01:30 pm Hora Final: 02:00 pm

TIPO DE SERVICIO
 MONOFÁSICO 2H ☒ MONOFÁSICO 3H ☐ TRIFÁSICO 3H ☐ TRIFÁSICO 4H ☐

DATOS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

Número: 22060010
 Marca: LEMAN
 Tipo: 004T
 Clase: 55 A.
 Fases: 1
 Hilos: 2
 Tensión: 120V.
 Kh: 2500 I/kWh.
 Sello de Aro: -
 Sello Gabinete: -
 Sello de Dem.: -
 Cantidad: 06
 Datos/Digito: X1
 Multiplicador: X1
 Puesta de Pantalla: BIEN ☒ MAL ☐

LECTURAS INE

FECHA: 15 JUL 2024. FECHA: ____/____/____
 kWh: _____ kWh Punta A: _____
 kVArh: _____ kWh Valle B: _____
 kW (Ind. Max): _____ kWh (Ind. Max) A+B: _____
 kW (Acum.): _____ kVArh (Ind. Max): _____
 FECHA: ____/____/____ kWh Punta A: _____
 kWh: _____ kWh Valle B: _____
 kVArh: _____ HORA DEL EQUIPO DE MEDICIÓN: _____
 kW (Ind. Max): _____ HORA OFICIAL: _____
 kW (Acum.): _____

TC's: _____ Código Inspector: 2da. Lec. _____
 USO DEL INMUEBLE: Prototipo de uso domiciliarios.
 DISTANCIA DEL INMUEBLE AL MEDIDOR (m): _____
 UBICACIÓN DEL MEDIDOR: Mover en caja PVC. ALTURA (m): _____
 ELECTROMECÁNICO ☐ HÍBRIDO ☐ ELECTRÓNICO ☒ BI-CUERPO ☐

OBSERVACIONES SOBRE EL EQUIPO DE MEDICIÓN
 - Medidor electrónico tipo Prepago.
 - Instalado en caja PVC movi.

EXISTE LUMINARIA DE ALUMBRADO PÚBLICO: SI _____ NO _____ B/E _____ M/E _____ DISTANCIA AL INMUEBLE _____ m
 TIPO DE LUMINARIA: MERCURIO ☐ SODIO ☐ LED ☐

DATOS DE LA ACOMETIDA

Aérea ☐ Subterránea ☐ Punto/Rameta en el inmueble: Muro Perimetral.
 Dúplex ☒ Triplex ☐ Número de empalmes en la acometida: _____ Estado: _____
 Cuadriples ☐ Protodur ☐ Ubicación de los empalmes: _____
 Aluminio ☐ Cobre ☒ Estado físico de la acometida: Bueno ☒ Malo _____
 Conoéntrico ☐ OTROS ☐ Tipo de empalmes: _____; longitud de la acometida (m): 2 m.
 Calibre(AWG o MCM) #12 Transformadores del Suministro son Exclusivos SI ☐ NO ☒
 Cantidad: _____ Capacidad: _____

OBSERVACIONES SOBRE LA ACOMETIDA
 - Acometida de alimentación al medidor electrónico TOJ
 3x12 AWG, THHN.

Figura No. 19 – Hoja 1/3 de Acta de inspección emitida por INE.

Pág. 2

PRUEBAS AL EQUIPO DE MEDICIÓN

Cargas encontradas: DATOS DE PRUEBAS ☒

$I_a = 0.00$ (A) $I_b = 11.233$ (A) $V_{ab} =$ (V) $V_{bc} = 118.74$ (V)
 $I_b =$ (A) $I_c =$ (A) $V_{bc} =$ (V) $V_{ca} =$ (V)
 $I_c =$ (A) $I_a =$ (A) $V_{ca} =$ (V) $V_{ab} =$ (V)
 $I_n = 0.00$ (A) $I_n = 11.233$ (A)

PRUEBAS DE CRONOMETRADO AL MEDIDOR

Prueba con carga Externa: SI ☒ NO ☐

Para medidores en Gabinetes, mediciones secundarias o primarias

PRUEBA 1

Vueltas = _____
 t (seg) = _____
 kVA = _____
 kW = _____
 kW/kVA = _____
 FACTOR DE LA PRUEBA 1 = _____

PRUEBA 2

Tiempo de Pulsos de kVArh: _____
 Tiempo de Pulsos de kWh: _____
 Sen(Tan⁻¹ (Tiempo de Pulsos kVArh / Tiempo de pulsos kWh)) = _____
 FACTOR DE LA PRUEBA 2 = _____

PORCENTAJE DE ERRORES PRESENTADOS POR PATRON VERIFICADOR

Patrón Monofásico / 2H y Trifásico 3H / 4H			
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	% Error - Promedio
+0.09	+0.52	+0.00	+0.446%

Patrón Monofásico / 3H					
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	% Error Promedio por fase	% Error Promedio Total
Fase 1					
Fase 2					

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE MEDICIÓN BI-CUERPO

Distancias entre equipo PRINCIPAL y RECEPTOR: _____ (m)
 Trayectoria lineal sin obstáculos: _____ (m) aprox.
 Trayectoria no Lineal y con obstáculos: _____ (m) aprox.
 Tipo de obstáculo: _____
 Comprobación de Prueba de Correspondencia, BIEN ☐ MAL ☐

Réplica de pulsos en correspondencia a carga ☐
 Réplica de pulsos en NO CORRESPONDENCIA a la carga ☐
 Led de pulsos (P), está ACTIVO sin existir cargas ☐
 Led OP1 Activo ☐ Led OP2 Activo ☐
 Registra carga en pantalla: SI ☐ NO ☐

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS AL EQUIPO DE MEDICIÓN

Nota: Se reanegan pruebas al medidor electrónico con patrón Verificador Zopa, Modulo = MT310. Reanegado con carga resistiva.
 $P = 1.390$ kW - Nota: Se verificó que el prototipo de
 $S = 1.393$ VA medición prepago se encuentra dentro
 $FP = 0.99$ du rango de precisión Según la normativa.
 (N.S.E 2.2)

Nº 166593

Figura No. 20 – Hoja 2/3 de Acta de inspección emitida por INE.

☒

lan 0.00 (A)
lbn _____ (A)
lcn _____ (A)
lyn 0.00 (A)

Es obligatorio tener la comente del neuro.

Observaciones: OK!

[illegible]

- Se realizaron Pruebas al Prototipo del Sistema de medición y gestión de energía prepagado para 5 alumnos de los Computadores: Lenin Roberto Aguilar Perez.
• Aurora José Obando Flores.

Inspector _____
(Nombre y firma)

Cliente _____
(Nombre y firma)

Cédula número: _____ N.º 166593

5.7 Pruebas en entorno Residencial

La prueba residencial del prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago constituye un acontecimiento fundamental en el proceso de validación de su funcionalidad en un entorno real. Esta prueba tiene como propósito principal evaluar la capacidad del prototipo para medir parámetros eléctricos con precisión, gestionar el consumo energético mediante un esquema de prepago y garantizar la sostenibilidad de su diseño en una vivienda con tarifa T0. La metodología incluyó la instalación física del dispositivo, un censo detallado de cargas, monitoreo remoto en tiempo real y la comparación de mediciones para verificar su desempeño frente a estándares normativos.

El proceso de instalación se llevó a cabo en el panel eléctrico principal de la vivienda, específicamente en la salida de un breaker asignado al circuito de tomacorrientes generales (***Ver en Anexos 27: Conexión del panel eléctrico al prototipo***). Este paso inicial permitió integrar el prototipo de manera efectiva al sistema eléctrico de la residencia.

1. Conexiones Eléctricas

- La entrada del medidor se conectó a los terminales de fase y neutro provenientes del breaker, asegurando una alimentación confiable.
- La salida del medidor se vinculó al circuito previamente seleccionado para alimentar las cargas residenciales (***Ver en Anexos 28: Conexión del prototipo al panel eléctrico***).

2. Configuración del Sistema

- El prototipo fue configurado para operar en red mediante su conexión a la red Wi-Fi de la vivienda, habilitando la transmisión de datos en tiempo real a través de la plataforma ThingSpeak. Este paso permitió monitorear de forma remota los parámetros eléctricos, como voltaje,

corriente, potencia, energía acumulada y energía restante **(Ver en Anexos 29: Visualización de los parámetros en ThingSpeak).**

Previo al inicio de las pruebas, se realizó un censo detallado de las cargas conectadas al circuito seleccionado. Este análisis permitió establecer un perfil de consumo energético promedio, sirviendo como base para ajustar los parámetros de programación del prototipo.

Tabla No. 7 - Censo de Cargas y Estimación de Consumo.⁷

Carga	Potencia (W)	Tiempo de Uso Diario (h)	Consumo Diario Estimado (kWh)
Plancha eléctrica	1200	6.26	7.512 ⁸
Televisor	120	6	0.840
Router Wi-Fi	20	24	0.480
Toma corriente (Cuarto 1)	100	8	0.800
Toma corriente (Baño)	60	1	0.6
Toma corriente (Cuarto 2)	100	8	0.800
Bomba de agua (1/2 hp)	476	5	2.380 ⁹
Refrigeradora	150	3	0.450 ¹⁰

⁷ Cargas como la bomba de agua y la refrigeradora fueron conectadas a través de extensiones en los tomacorrientes del circuito para evaluar el impacto de cargas pesadas en el medidor prepago.

⁸ La plancha eléctrica fue utilizada una vez durante el periodo de 20 días y, aunque estuvo conectada por 6.26 horas, no mantuvo una carga constante, ya que su potencia osciló entre 0 W y 1200 W.

⁹ La bomba de agua opera automáticamente mediante boyas, activándose únicamente cuando el nivel de agua lo requiere. Aunque estuvo conectada durante un promedio de 5 horas diarias, su tiempo real de funcionamiento fue reducido, con ciclos de activación de aproximadamente 3 minutos, alcanzando un total estimado de 20 activaciones o menos por día.

¹⁰ La refrigeradora, al ser de tecnología inverter, ajusta su consumo según la demanda, por lo que no presenta un consumo lineal constante.

El consumo diario total estimado se utilizó como referencia para digitar el código de adquisición de energía. Así mismo, se adaptó el medidor con el Wi-Fi de la vivienda para facilitar el seguimiento de los parámetros en tiempo real.

El comportamiento del consumo energético de la vivienda fue monitoreado cada hora durante 20 días a través de ThingSpeak (**Ver en Anexos 30: Progreso del consumo de la energía comprada**). Las mediciones se registraron en gráficos que reflejan el consumo progresivo en función de las cargas conectadas y el tiempo. Los gráficos generados evidenciaron un consumo acorde a lo esperado, respaldando la funcionalidad del sistema de medición y gestión energética.

Una de las características más destacadas del prototipo es su capacidad para interrumpir automáticamente el suministro eléctrico al agotarse la energía comprada. Durante las pruebas, este mecanismo fue evaluado en su totalidad para comprobar su efectividad.

Durante 20 días el medidor de energía prepago estuvo instalado, al momento de consumirse los 25 kWh de energía previamente adquiridos, el prototipo envió una señal al relé para interrumpir el flujo eléctrico hacia el circuito conectado. Simultáneamente, la pantalla LCD mostró un mensaje indicando que el saldo de energía era insuficiente, solicitando una nueva compra para reactivar el suministro (**Ver en Anexos 31: Corte automático de energía**).

El corte automático fomenta una gestión responsable del consumo energético por parte de los usuarios. Al saber que el suministro se detendrá al agotarse la energía comprada, los residentes son incentivados a monitorear su consumo y a realizar un uso más consciente de los recursos eléctricos. Este enfoque promueve hábitos de consumo más sostenibles y reduce el desperdicio energético, generando beneficios tanto para los usuarios como para el medio ambiente.

Además, esta funcionalidad contribuye a la prevención de sobrecargos y deudas asociadas al consumo energético. Al establecer una relación directa entre la cantidad de energía comprada y la cantidad consumida, el sistema elimina la posibilidad de exceder el saldo disponible. Esto evita la acumulación de deudas y ofrece a los usuarios un control total sobre su gasto energético, lo que a su vez incrementa la transparencia en el proceso de facturación.

Al operar bajo un esquema prepago, el sistema garantiza que cada usuario consuma únicamente la energía que ha adquirido previamente, lo que refuerza una relación justa entre el proveedor del servicio y el consumidor. Este enfoque resulta particularmente útil en contextos donde la gestión eficiente de los recursos energéticos es una prioridad y donde los usuarios buscan alternativas claras y accesibles para controlar su consumo eléctrico.

La evaluación integral del prototipo confirma su viabilidad como una alternativa eficiente, precisa y sostenible para la gestión energética en hogares con tarifa T0. Este ensayo abre las puertas para futuras implementaciones, consolidando su potencial como solución innovadora en el sector doméstico.

Tabla No. 8 – Cálculo de Tarifa estimada para un sistema de energía prepago.

Compra de Energía Medidor Prepago				*Sin aplicar descuentos tarifarios
kWh	Costo de Energía	Alumbrado Público	Comercialización	Costo Total C\$
25	C\$ 62.0175	C\$ 15.5999	C\$ 36.0473	C\$ 113.6647
50	C\$ 296.685	C\$ 20.0175	C\$ 36.0473	C\$ 352.7498
100	C\$ 622.12	C\$ 24.4659	C\$ 36.0473	C\$ 682.6332
150	C\$ 1240.395	C\$ 91.7093	C\$ 36.0473	C\$ 1,368.1516

Una vez finalizada todas las pruebas necesarias para validar el prototipo, se procedió a estimar el precio de la energía en kWh tomando en cuenta que los precios son para un sistema prepago y con los costos bases de energía, alumbrado público y comercialización según las tarifas de INE durante el año 2024.

6. Conclusiones

El desarrollo del prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago' basado en el microcontrolador ESP32 logró cumplir con los objetivos planteados, estableciendo una solución innovadora para la administración del consumo eléctrico en el sector residencial. Este sistema combina la medición precisa de parámetros eléctricos con un esquema prepago y la integración de herramientas IoT, permitiendo el monitoreo en tiempo real y la gestión eficiente de la energía adquirida.

La construcción del prototipo incluyó sensores eléctricos y módulos de comunicación inalámbrica que garantizaron mediciones precisas y un control efectivo del consumo energético. El diseño del entorno de prueba permitió validar funcionalidades clave como la adquisición de energía mediante códigos de compra, el monitoreo remoto a través de ThingSpeak y el corte automático de energía al agotarse los créditos disponibles. Estas características evidencian la capacidad del sistema para adaptarse a las necesidades reales de los hogares residenciales.

La prueba realizada en las instalaciones del Instituto Nicaragüense de Energía (INE) representó un paso crucial en la validación del prototipo, garantizando su conformidad con los estándares técnicos y normativos. Esta evaluación confirmó tanto la precisión de las mediciones como la funcionalidad del sistema para gestionar el consumo y el corte de energía, destacando su potencial para implementaciones futuras en el sector eléctrico del país.

En términos de impacto, el prototipo no solo ofrece una solución técnica eficiente para el control del consumo eléctrico, sino que también fomenta un uso responsable de la energía. El modelo prepago promueve una cultura de consumo consciente entre los usuarios residenciales abriendo la puerta a futuras mejoras que fortalezcan el manejo de la energía en el sector residencial nicaragüense.

7. Recomendaciones

A partir del desarrollo y evaluación del prototipo de 'sistema de medición y gestión de energía prepago', se identificaron áreas de mejora que permitirían optimizar su funcionamiento y ampliar su aplicabilidad en un futuro. Estas recomendaciones están orientadas a fortalecer la implementación del sistema en condiciones reales, considerando tanto aspectos técnicos como operativos.

En primer lugar, se sugiere establecer una colaboración directa con las empresas distribuidoras de energía para gestionar la seguridad y autenticidad de los códigos de compra de energía. Dado que estos códigos representan un elemento crítico en el esquema prepago, es esencial implementar sistemas robustos de generación y verificación, asegurando la integridad de las transacciones. Este trabajo requiere la participación de especialistas en seguridad informática, lo cual excede el alcance de este trabajo monográfico, pero constituye un paso indispensable para garantizar la confiabilidad del sistema.

Asimismo, se recomienda integrar una fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) al prototipo, de manera que el sistema pueda mantener su operatividad durante fluctuaciones del suministro eléctrico. Por otro lado, se sugiere optimizar la pantalla utilizada para mostrar con mayor claridad las lecturas de consumo y otros parámetros del sistema. Una pantalla más robusta podría mejorar significativamente la experiencia del usuario al proporcionar información en tiempo real sin retrasos perceptibles. Esto requeriría la selección de hardware con mayor capacidad de procesamiento y mayor velocidad de respuesta.

Finalmente, se recomienda continuar con pruebas extensivas en diferentes entornos residenciales y ampliar el alcance del monitoreo para evaluar el comportamiento del sistema en condiciones diversas. Estas recomendaciones no representan limitaciones del proyecto, sino oportunidades para continuar desarrollando y perfeccionando el sistema, asegurando su viabilidad técnica y práctica en implementaciones futuras.

8. Bibliografía

- Aldas Collaguazo, A. D. (2015, abril). Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial para el DMQ bajo las normas ANSI. Recuperado de <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8889/6/UPS-KT01086.pdf>
- Ardila Jimenez, L. F. (2018). Caracterización de la morosidad de energía eléctrica según el tipo de cliente: caso Bogotá (2010-2017) estudio para el departamento de cobranza de energía eléctrica de Codensa S.A Practica investigativa Codensa S.A. Recuperado de <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.escuelain.g.edu.co/bitstream/handle/001/903/Luis%20Fernando%20Ardila%20Jime nez-%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arduino. (2023). Arduino Boards and Microcontrollers. Recuperado de <https://www.arduino.cc>
- Asamblea Nacional. Ley No. 272 Ley de la Industria Eléctrica. (2027, 14 de julio). Ministerio de Energía y Minas – MEM. Recuperado de https://www.mem.gob.ni/?page_id=8183
- Bateman, Castañeda, Cortes, Echeverry, Franco, A. C. S. L. P. (2011, noviembre). Estudio de usuarios sin servicio por morosidad de los negocios de aguas, energía eléctrica y gas natural para identificar estrategias y políticas públicas de orden nacional, regional y local. Recuperado de <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.repository.fede sarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/352/Estudio%20de%20usuarios%20-%20Informe%20Final%20EPM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabrejos. (2021). Sistema prepago para el suministro de energía eléctrica de Electronoroeste S.A. Región Piura. Recuperado de [https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ucv.edu.p e/bitstream/handle/20.500.12692/54569/Cabrejos_DSMD-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/54569/Cabrejos_DSMD-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

- Cotán Fernández, A. (2019, 23 de noviembre). El método etnográfico como construcción de conocimiento: un análisis descriptivo sobre su uso y conceptualización en ciencias sociales. RIUMA Principal. Recuperado de <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/19608/MARGENES-1-1-5%20pp%2083-103.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ellison, S. L. R. (2012). Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas. Recuperado de https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.citac.cc/QUAM2012_P1_ES.pdf
- Espressif Systems. (2023). ESP32 Technical Reference Manual. Recuperado de <https://www.espressif.com>
- Esquina Cosigua, P. D. (2021, agosto). Análisis del consumo propio de los medidores de energía eléctrica, utilizados en una distribuidora de energía, en los departamentos de: Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez - Repositorio Institucional USAC. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/16252/>
- García-Mina Peñaranda, J. C. (2019). Prepago de contadores de energía utilizando tecnología Blockchain. Handle Proxy. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11531/34569>
- López López, D. F. (2020). Diseño e implementación de un sistema de medidor de consumo de energía eléctrica residencial prepago. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42257>
- Microchip Technology. (2023). PIC Microcontrollers Overview. Recuperado de <https://www.microchip.com>
- Raspberry Pi Foundation. (2023). Raspberry Pi Documentation. Recuperado de <https://www.raspberrypi.org>
- Ruiz, A. (2022, 25 de febrero). Blockchain: Qué es y para qué sirve | TicNegocios. Tecnología para los negocios. Recuperado de <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/blockchain-que-es-y-que-ventajas-tiene/>

- Salinas, O., & Pérez, G. (2001). Normativa de Servicio Eléctrico. Recuperado de https://www.ine.gob.ni/wp-content/uploads/2022/09/Normativa_servicio_electrico.pdf
- Vega Escobar, A. M. (2018, 24 enero). Gestión de la Energía Eléctrica domiciliaria con base en la Gestión Activa de la Demanda. Recuperado de <https://www.proquest.com/openview/b50766fcc5251c8405d7c8276332d96f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Vélez Saldarriaga, J. P. (2016). Análisis del impacto de ampliar la cobertura de la oferta de energía prepago en Antioquia. Recuperado de <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/3666e89e-ca26-45d5-8235-7ccfccfaaf46/content>

9. Anexos

Anexos 1: Hojas de datos técnicas de cada componente del sistema.

Anexos 1.1: ESP32



ESP32-WROOM-32
Datasheet

**NOT RECOMMENDED
FOR NEW DESIGNS
(NRND)**

 Version: 3.4
Espressif Systems
Copyright © 2020

www.espressif.com

1 Overview

ESP32-WROOM-32 is a powerful, generic Wi-Fi + Bluetooth® + Bluetooth LE MCU module that targets a wide variety of applications, ranging from low-power sensor networks to the most demanding tasks, such as video encoding, music streaming and AR/VR tracking.

At the core of this module is the ESP32-C0X6C02 chip*. The chip architecture is designed to be scalable and adaptive. There are two CPU cores that can be individually controlled, and the CPU clock frequency is adjustable from 80 MHz to 240 MHz. The chip also has a low-power co-processor that can be used instead of the CPU to save power while performing tasks that do not require much computing power, such as monitoring of peripherals. ESP32 integrates a rich set of peripherals, ranging from capacitive touch sensors, SD-card interface, Ethernet, high-speed SPI, IAP/OTA, and so on.

Note

* For details on the pin numbers of the ESP32 family of chips, please refer to the document [ESP32 Pin List](#).

The integration of Bluetooth, Bluetooth LE and Wi-Fi ensures that a wide range of applications can be targeted, and that the module is allowed to using Wi-Fi alone or high physical layer and other connections to the internet through a Wi-Fi router, while using Bluetooth allows the user to conveniently connect to the phone or localized low-energy devices for its detection. The sleep current of the ESP32 chip is less than 1 µA, making it suitable for battery-powered and wearable electronic applications. The module supports a data rate of up to 150 Mbps, and 20 dBm output power at the antenna to ensure the widest physical range. As such, the module does offer reliably meeting applications and the best performance for electronic integration, range, power consumption, and connectivity.

The operating system chosen for ESP32 is based on Linux with 1.0.0 with hardware acceleration is built in as well. Secure boot policy over the on-chip upgrade is also supported, so that users can upgrade their products over the air without cost and effort.

Table 1 provides the specifications of ESP32-WROOM-32.

Parameter	Units	Description
RF certification		See certifications for ESP32-WROOM-32
Certification		Wi-Fi certification: Wi-Fi Alliance Bluetooth certification: SIG Device certification: RoHS/REACH
Test		Factory
Wi-Fi	Frequency	2.4 GHz, 5 GHz, 60 GHz (FCC/ETSI)
	Power	802.11n: up to 150 Mbps 802.11ac: up to 1300 Mbps 802.11ad: up to 7 Gbps (IEEE 802.11ad)
	Power	Class 1, class 2 and class 3 (IEEE 802.11)
Bluetooth	Power	Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification 40 dBm max with 20 dBm sensitivity Class 1, class 2 and class 3 (IEEE 802.15.1)

Espressif Systems

[Not Recommended for New Designs \(NRND\)](#)

[Espressif Systems](#)

Anexos 1.1.1: Continuación de hoja de datos ESP32.

1. Overview

Category	Item	Specifications
Hardware	Audio	CMSD and SBD
	Media interfaces	SD card, UART, SPI, DDC, SD, LED PWM, Motor PWM, I2C, I2C master/slave, I2C, capacitive touch sensor, A/D, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWAI), compatible with ISO11996-1 CAN Specification 2.0
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Required I/O bus	0 MB
	Operating voltage/Power supply	3.0 V - 5.0 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current consumed to power supply	500 nA
	Recommended operating ambient temperature range	-40 °C ~ +85 °C
Package size	Package size	18 mm × 25.5 mm × 3.10 mm
	Minimum sensitivity level (MSL)	Level 5

Expenditure

Not Recommended For New Designs (NPD)

2. New Definitions

Name	Pin	Type	Function
SEN03A	4	I	GPIO0, ADC12_CH0, RTC_GPIO0
SEN03A_W	5	I	GPIO3A, ADC12_CH0, RTC_GPIO0
E24	6	I	GPIO4, ADC12_CH1, RTC_GPIO0
E25	7	I	GPIO5, ADC12_CH1, RTC_GPIO0
E32	8	I/O	GPIO2, XTAL32K_P, SD_FSD1801 crystal oscillator input, ADC12_CH4, TOUCH_IRQ_GPIO0
E33	9	I/O	GPIO2, XTAL32K_P, SD_FSD1801 crystal oscillator output, ADC12_CH5, TOUCH_IRQ_GPIO0
E26	10	VO	GPIO25, DAC1_2, ADC2_CH0, RTC_GPIO0, EMAC_TXD0
E28	11	VO	GPIO26, DAC1_2, ADC2_CH0, RTC_GPIO0, EMAC_TXD1
E27	12	VO	GPIO27, ADC2_CH1, TOUCH_IRQ_GPIO0, EMAC_RX0N
E14	13	VO	GPIO14, ADC2_CH0, TOUCH_IRQ_GPIO0, MTDAT, HPSDQ, HSD_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD0
E17	14	VO	GPIO2, ADC2_CH0, TOUCH_IRQ_GPIO0, MTDAT, HPSDQ, HSD_DATA, SD_DATA, EMAC_TXD1
E40	16	P	Ground
E13	18	I/O	GPIO13, ADC2_CH0, TOUCH_IRQ_GPIO0, MTDAT, HPSDQ, HSD_DATA, SD_DATA, EMAC_RX_P
SEN03D	17	VO	GPIO18, SD_DATA, SPI0_HST_DATA, U17D0
SEN03D_W	18	VO	GPIO18, SD_DATA, SPI0_HST_DATA, U17D0
SEN03C	19	VO	GPIO11, SD_CLK, SPI0_HST_CLK, U17B0
SEN03C_W	20	VO	GPIO18, SD_CLK, SPI0_HST_CLK, U17B0
SEN03D	21	VO	GPIO17, SD_DATA, SPI0_HST_DATA, U17D0
SEN03D_W	22	VO	GPIO18, SD_DATA, SPI0_HST_DATA, U17D0
E15	23	VO	GPIO13, ADC2_CH1, TOUCH_IRQ_GPIO0, MTDAT, HPSDQ, RTC_GPIO0, HSD_CLK, SD_CLK, EMAC_RXD0
E2	24	VO	GPIO2, ADC12_CH0, TOUCH_IRQ_GPIO0, HSPWR1, HSD_DATA, SD_DATA
E3	25	VO	GPIO2, ADC12_CH1, TOUCH_IRQ_GPIO0, HSDQ, EMAC_TX_CLK
E4	26	VO	GPIO4, ADC12_CH0, TOUCH_IRQ_GPIO0, HSPWR1, HSD_DATA, SD_DATA, EMAC_TX_EN
E16	27	VO	GPIO16, HST_DATA, U17D0, EMAC_CLK_OUT
E17	28	VO	GPIO17, HST_DATA, U17D0, EMAC_CLK_OUT_HB
E8	29	VO	GPIO18, VSPWR0, HST_DATA, EMAC_RX_CLK
E18	30	VO	GPIO18, VSPWR0, HST_DATA7
E19	31	VO	GPIO19, VSPWR0, U17D1, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
E21	33	VO	GPIO21, VSPWR0, EMAC_TX_EN
U17D0	34	VO	GPIO18, U17D0, CLK_OUT2
T4D0	35	VO	GPIO18, U17D0, CLK_OUT2, EMAC_RXD0
E22	36	VO	GPIO22, VSPWR1, U17D1, EMAC_TXD1
E23	37	VO	GPIO23, VSPWR1, HST_STROBE
E41	38	P	Ground

Equipment Systems

Subject Documentation Feedback

2. The Distribution

2 Pin Definitions

2.1 Pin Layout

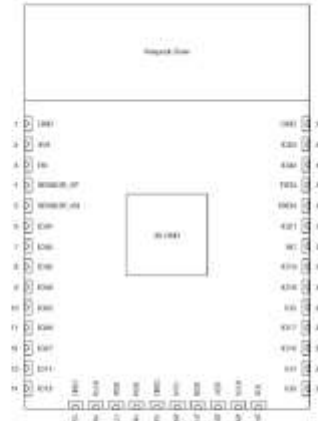


Figure 1: ESP32-WROOM-02 Pin Layout (Top View)

2.2 Pin Description

ESF102-WRCOM-32 has 38 pins. See pin definitions in Table 1.

Table 2: Plot Descriptions

Signal	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
VDD	2	P	Power supply
EN	3	I	Module enable signal. Active high.

Diagram Systems

© 2010 Microsoft Corporation. All rights reserved. Microsoft, the Microsoft Dynamics logo, and "Your business. Your data." are either registered trademarks or trademarks of Microsoft Corporation in the United States and/or other countries.

2. Phys. Eigenschaften:

RECORD

* PDB IDs: 3DQ3A, 3DQ3B, 3DQ3C, 3DQ3D, 3DQ3E and 3DQ3F. namely, IP3M to IP3T1 are connected by the integrated IP3T1 integrated in the module and are not recommended for other uses.

2.3 Strapping Pins

ASAP has five shipping pins, which can be seen in Chapter 8 Schematics.

- MITOX
- GPR100
- GPR102
- MITOX
- GPR102

Software can read the values of these bits from register "GPC_STRAP000".

During the chip's system reset (power-on-reset, VCC switching reset and brownout reset), the status of the strapping pin sample the voltage level as strapping bits of "0" or "1", and hold these bits until the chip is powered down or shut down. The strapping bits configure the device's boot mode, the operating voltage of VCC, MIO and other vital system settings.

Each strapping pin is connected to its internal pull-up/pull-down during the chip reset. Consequently, strapping pin is unconnected or the connected external circuit is high-impedance, the internal weak pull-up/pull-down will determine the default input level of the strapping pins.

To change the shipping of values, users can apply the external pull-down/pull-up resistances, or use the host I2C/I²C GPIOs to control the voltage level of these pins when powering on SSP02.

After read release, the shipping class works as normal function sets.

Refer to Table 2 for a detailed boot-mode configuration for shipping pins.

Table 3: Shopping Firm

Voltage of internal LDO (LED, LDO3)				
Pin	Default	3.3 V	1.8 V	
MTDO	Pull-down	0	1	
Bootling Mode				
Pin	Default	SPi Boot	Download Boot	
GPIC0	Pull-up	1	0	
GPIC2	Pull-down	Don't-care		
Enabling/Disabling Log During Low-Power Mode LTRIO During Bootling				
Pin	Default	LTRIO Active	LTRIO Inactive	
MTDO	Pull-up	1	0	
Timing of LTRIO State				
Pin	Default	FE Sampling FE Output	FE Sampling FE Output	FE Sampling FE Output
MTDO	Pull-up	0	1	1
GPIC0	Pull-up	1	0	1

Fluorocel Systems

TO: **Not Recommended For New Design (NRC)**
 (Approved for Design)

Anexos 1.1.2: Continuación de hoja de datos ESP32.

3 Functional Description

3.4 RTC and Low-Power Management

With the use of advanced power management technologies, ESP32 can switch between different power modes.

For details on ESP32's power consumption in different power modes, please refer to section "RTC and Low-Power Management" in [ESP32 PinSheet](#).

5 Electrical Characteristics

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
I_{DD}	Low-level static current (VDD = 3.3 V, VDDA = 0.425 V, output drive strength set to the maximum)	—	26	—	mA
R_{PU}	Resistance of internal pull-up resistor	—	45	—	kΩ
R_{PD}	Resistance of internal pull-down resistor	—	45	—	kΩ
V_{DD_USER}	Low-level input voltage of CHIP_PU to shut down the chip	—	0.5	—	V

Notes

- Please see Appendix D, [Table D-1](#) for I/O pin characteristics for I/O power domain. VDD is the I/O voltage for a particular power domain of pins.
- For WDOG0, CPU and WDOG1, WDT power domain, per-pin current specified in the same domain is gradually reduced from around 40 mA to around 20 mA, I_{DD_USER} is 0.4 V, and the number of current source pins increases.
- Pin occupied by flash and/or PSRAM is the WDT_0 power domain and excluded from the test.

5.4 Wi-Fi Radio

Table 5: Wi-Fi Radio Characteristics

Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Carrier frequency range of operating channel ^{1,2,3}	—	2412	—	2484	MHz
Output impedance ^{4,5}	—	—	100 Ω	—	Ω
TX power ^{6,7}	FCC, MCS7	12	13	14	dBm
Sensitivity	1 % mode	17.5	16.5	20	dBm
	1 % 1 Mbps	—	-80	—	dBm
	1 % 11 Mbps	—	-80	—	dBm
	1 % 6 Mbps	—	-80	—	dBm
	1 % 34 Mbps	—	-74	—	dBm
	1 % HT40 MCS0	—	-81	—	dBm
	1 % HT40 MCS7	—	-71	—	dBm
	1 % HT40 MCS0	—	-80	—	dBm
	1 % HT40 MCS7	—	-80	—	dBm
	1 % 6 Mbps	—	-71	—	dBm
Adjacent channel rejection	1 % 6 Mbps	—	-31	—	dB
	1 % 34 Mbps	—	-14	—	dB
	1 % HT40 MCS0	—	-31	—	dB
	1 % HT40 MCS7	—	-13	—	dB

- Device should operate in the carrier frequency range of operating channel allocated by regional regulatory authorities.
- Target carrier frequency range of operating channel is configurable by software.
- For the modules that use external antenna, the output impedance is 50 Ω. For other modules without external antenna, users do not need to concern about the output impedance.
- Target TX power is configurable based on device or certification requirements.

Exposed Pads:

12

Submit Documentation Feedback

Not Recommended For New Designs (NPD)
ESP32-WROOM-02 (Rev. 0.4)

5 Electrical Characteristics

5.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond the absolute maximum ratings listed in Table 5 below may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and do not enter the functional operation of the device that should follow the recommended operating conditions.

Table 5: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDDIO	Power supply voltage	-0.3	3.6	V
I _{DDIO}	Combinational I/O output current	—	1.000	mA
T _{max}	Storage temperature	-40	105	°C

- The module is sealed properly after a 24-hour test in ambient temperature at 55 °C, and the I/O in these domains (WDOG0, WDT, WDOG1, CPU, WDT, WDT0, WDT1) is tested high-impedance to ground. Please note that pins competing for both and/or PSRAM in the WDT_0 power domain are excluded from the test.
- Please see Appendix D, [Table D-1](#) for I/O pin characteristics for I/O power domain.

5.2 Recommended Operating Conditions

Table 6: Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Typical	Max	Unit
VDDIO	Power supply voltage	3.3	3.3	3.6	V
I _{DDIO}	Current delivered by external power supply	0.5	—	—	A
T	Operating ambient temperature	-40	—	85	°C

5.3 DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Table 7: DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
CPU	Pin capacitance	—	2	—	pF
V _{DDIO}	High-level input voltage	0.75 × VDD	—	0.9 × VDD	V
V _{DDIO}	Low-level input voltage	—0.5	—	0.5 × VDD	V
I _{DDIO}	High-level input current	—	—	50	μA
I _{DDIO}	Low-level input current	—	—	50	μA
V _{DDIO}	High-level output voltage	0.9 × VDD	—	—	V
V _{DDIO}	Low-level output voltage	—	—	0.1 × VDD	V
I _{DD}	High-level source current (VDD = 3.3 V, VDDA = 0.425 V, output drive strength set to the maximum)	WDOG0, CPU power domain ^{1,2}	—	40	mA
		WDOG0, WDT power domain ^{1,2}	—	60	mA
		WDT_0 power domain ^{1,2}	—	20	mA

Exposed Pads:

12

Submit Documentation Feedback

Not Recommended For New Designs (NPD)
ESP32-WROOM-02 (Rev. 0.4)

Exposed Pads:

16

Submit Documentation Feedback

Not Recommended For New Design (NPD)
ESP32-WROOM-02 (Rev. 0.4)

3 Functional Description

This chapter describes the modules and functions integrated in ESP32-WROOM-02.

3.1 CPU and Internal Memory

ESP32-WROOM-02 contains two low-power Xtensa® 32-bit CPU microprocessors. The internal memory includes:

- 448 KB of ROM for loading of device functions.
- 512 KB of on-chip SRAM for data and instructions.
- 6 KB of SRAM in RTC, which is called RTC Fast Memory and can be used for data storage. It is accessed by the main CPU during RTC Boot from the Deep-sleep mode.
- 6 KB of SRAM in WDT, which is called WDT SRAM Memory and can be accessed by the co-processor during the Deep-sleep mode.
- 1 MB of 8Kbit SRAM used for the system boot address and chip configuration and the remaining 768 Kbit are reserved for customer applications, including flash storage and chip ID.

3.2 External Flash and SRAM

ESP32 supports multiple external QSPI flash and SRAM chips. More details can be found in Chapter 8 in the [ESP32 PinSheet Reference Manual](#). ESP32 also supports hardware encryption/decryption based on AES to protect developer programs and data in flash.

ESP32 can access the external QSPI flash and SRAM through high-speed caches.

- The external flash can be mapped into CPU instruction memory space and read-only memory space simultaneously.
 - When external flash is mapped into CPU instruction memory space, up to 11 MB + 256 KB can be mapped at a time. Note that if more than 256 KB are mapped, cache performance will be reduced due to operation needs by the CPU.
 - When external flash is mapped into read-only data memory space, up to 4 MB can be mapped at a time. 8-Kbit, 16-Kbit and 32-Kbit words are supported.
- External SRAM can be mapped into CPU data memory space. Up to 4 MB can be mapped at a time. 8-Kbit, 16-Kbit and 32-Kbit words and bytes are supported.

ESP32-WROOM-02 integrates a 4-MB SPI flash, which is connected to QSPI0, QSPI1, QSPI2, QSPI3, QSPI4 and QSPI5. These do not need to be used as regular QSPIs.

3.3 Crystal Oscillators

The module uses a 40-MHz crystal oscillator.

Anexos 1.2: Pantalla LCD 20x4


Handson Technology

User Guide

I2C Serial Interface 20x4 LCD Module

This is I2C interface 20x4 LCD display module, a new high-quality 4 line 20 character LCD module with on-board contrast control adjustment, backlight and I2C communication interface. For Arduino beginners, no more cumbersome and complex LCD driver circuit connection. The real significance advantages of this I2C Serial LCD module will simplify the circuit connection, save some I/O pins on Arduino board, simplified firmware development with widely available Arduino library.

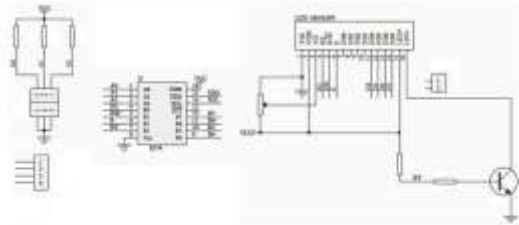



SKU: [DSP-118](#)

Key Data:

- Compatible with Arduino Board as micro controller board with I2C bus.
- Display Type: Black on yellow/green backlight.
- I2C Address: 0x38-0x3F (0x3F default)
- Supply voltage: 5V
- Interface: I2C to this LCD data and control lines.
- Contrast Adjustment: built-in Potentiometer.
- Backlight Control: Firmware or jumper wire.
- Board Size: 80x60 mm.

1
www.handsontec.com



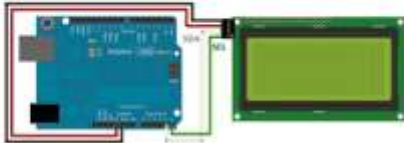
Reference circuit diagram of the I2C-to-LCD piggy-back board.

I2C LED Display:

At first you need to solder the I2C-to-LCD piggy-back board to the I2C pins LCD module. Ensure that the I2C-to-LCD piggy-back board pins are straight and fit in the LCD module, then solder to the first pin while keeping the I2C-to-LCD piggy-back board in the same plane with the LCD module. Once you have finished the soldering work, get four jumper wires and connect the LCD module to your Arduino as per the instruction given below.



LCD display to Arduino wiring.



3
www.handsontec.com

Anexos 1.3: Teclado matricial 4x3

<http://www.ag-electronica.com>

OKY0271: TECLADO MATRICIAL DE MEMBRANA 3x4



Descripción

Teclado de membrana con una matriz 3x4 de 12 botones en total. Cuenta con papel adhesivo en la parte posterior para que se pueda colocar fácilmente en la mayoría de las superficies planas. Incluye un cable plano de 7 pines flexibles, que se puede conectar directamente con tarjetas de desarrollo como Arduino o Raspberry. Ideal para cualquier proyecto que requiera entradas numéricas.

Especificaciones

- Fuerza de operación: 150 - 200m (Para presionar efectivamente los botones del teclado)
- Voltaje de entrada máximo: 30 VDC
- Corriente de trabajo: 100 mA
- Longitud de cable: 85 mm
- Peso: 7.5 g
- Tamaño: 70 x 77 x 1 mm
- Conector de 7 pines

Aplicaciones

El teclado matricial se puede utilizar en:

- Proyectos de Arduino
- Proyectos de control industrial, escaleras, etc.
- Entre otros proyectos que requieren la entrada de datos alfanuméricos.

Código de prueba

Include <Keyboard.h> // Biblioteca
 const byte numRows=4; // Las
 const byte numCols=3; // Columnas
 char teclado[numRows][numCols]; // Define las teclas
 {
 {'1','2','3','4','5','6'},
 {'7','8','9','0','*','/'},
 {' ',' ',' ',' ',' ',' '}
 };

 byte rowPins[numRows] = {5,6,7,8}; // Pines digitales relacionados a las filas.
 byte colPins[numCols] = {9,4,3,2}; // Pines digitales relacionados las columnas.

 Keyboard teclado = Keyboard(); // Creamos el teclado
 pinMode(rowPins, INPUT);
 pinMode(colPins, INPUT);
 digitalWrite(rowPins, HIGH);
 digitalWrite(colPins, HIGH);

AG Electrónica
 ¿Qué vamos a innovar hoy?

<http://www.ag-electronica.com>

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  char keypressed = teclado.getKey();
  if(keypressed != NO_KEY){
    Serial.println(keypressed); //Escribe en serial
  }
}
```

AG Electrónica
 ¿Qué vamos a innovar hoy?

AG Electrónica S. de RL de CV Resolución del Salario 9º del Impuesto Pro Tributario 5.430 - 1038	
ALICIA NORA	ALICIA NORA
TOLERANCIA	TECLADO MATRICIAL DE MEMBRANA 3x4
FECHA DE ELABORACIÓN	No. Parte: OKY0271

AG Electrónica
 ¿Qué vamos a innovar hoy?

Anexos 1.4: PZEM



For example, the master sends the following command (CRC check code is replaced by 0xHH and 0xLL, the same below):
0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x0A + 0xHH + 0xLL
Indicates that the master needs to read 10 registers with slave address 0x01 and the start address of the register is 0x0000

The correct reply from the slave is as following:
0x01 + 0x04 + 0x14 + 0x08 + 0x98 + 0x03 + 0xE8 + 0x00 + 0x00 + 0x08 + 0x98 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x01 + 0xF4 + 0x00 + 0x64 + 0x00 + 0x00 + 0xHH + 0xLL

The above data show:

- + Voltage is 0x0898, converted to decimal is 2200, display 220.0V
- + Current is 0x00003E8, converted to decimal is 1000, display 1.000A
- + Power is 0x0000898, converted to decimal is 2200, display 220.0W
- + Energy is 0x00000000, converted to decimal is 0, display 0Wh
- + Frequency is 0x01F4, converted to decimal is 500, display 50.0Hz
- + Power factor is 0x0064, converted to decimal is 100, display 1.00
- + Alarm status is 0x0000, indicates that the current power is lower than the alarm power threshold

4. Read and modify the slave parameters

At present, it only supports reading and modifying slave address and power alarm threshold

The register is arranged as the following table:

Register address	Description	Resolution
0x0001	Power alarm threshold	1LSB correspond to 1W
0x0002	Modbus RTU address	The range is 0x001-0x00F

The command format of the master to read the slave parameters and read the measurement results are same/described in details in Section 2.3, only need to change the function code from 0x04 to 0x03.

The command format of the master to modify the slave parameters is (total of 8 bytes):
Slave Address + 0x06 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Response: Slave Address + 0x06 + Number of Bytes + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

Error Reply: Slave address + 0x86 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

For example, the master sets the slave's power alarm threshold:

0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x01 + 0x08 + 0xFC + 0xHH + 0xLL
Indicates that the master needs to set the 0x0001 register (power alarm threshold) to 0x08FC (2300W).
Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

For example, the master sets the address of the slave:

0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x02 + 0x00 + 0x05 + 0xHH + 0xLL
Indicates that the master needs to set the 0x0002 register (Modbus-RTU address) to 0x0005.
Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

Anexos 1.5: Relé

FOTEK SSR SERIES SOLID STATE RELAY



- ★ High Reliability by S.M.T. & TQC (Surface Mounting Technology)
- ★ High Isolation over 5000VDC
- ★ High Dielectric over 2.5kV
- ★ Low Leakage Current less than 1.5mA / 12VDC
- ★ C-MOS IC or TTL Compatible
- ★ Low EMI / RFI & Surge by Zero-Cross Trigger Method
- ★ High Surge Current Duration Over 10 Times of Rated Current / One Cycle
- ★ High Surge Voltage Duration by Snubber Circuit
- ★ 適用於靜電敏感及全橋整流，提供高可靠性的 SSR
- ★ 內建緩衝及保護 50A / 500VDC
- ★ 可與電壓低於 5V 之 CMOS IC 或 TTL 邏輯電路連接
- ★ 高浪湧電流及高浪湧電壓，可應付各種工業及商業用途
- ★ 高浪湧電壓，高達 1000V 浪湧電壓，可應付各種工業及商業用途
- ★ 高浪湧電流，可應付各種工業及商業用途

Guiding of Model

Terminal Type

Ex-SSR-40DA-H

① ② ③ ④ ⑤

① Product 產品型

SSR SINGLE PHASE SOLID STATE RELAY
單相固態繼電器
SSR THREE PHASE SOLID STATE RELAY
三相固態繼電器

② Output Current 輸出電流

10 : 10A 25 : 25A
40 : 40A 50 : 50A
75 : 75A

③ Input Voltage 輸入電壓

D: DC 24V~32V ON/OFF+
A: AC 80~250V ON/OFF+
L: 4~20mA (linear)
V: VARIABLE RESISTOR

④ Output Voltage 輸出電壓

A: A.C. VOLTAGE
D: D.C. VOLTAGE

⑤ Output Voltage Range 輸出電壓範圍

H: High Voltage Type = 90~480VAC
N: Standard Type = 24~380VAC

PCB Type

Ex-SSR-P 03DA

① ② ③ ④ ⑤

① Product 產品型

SSR SINGLE PHASE SOLID STATE

② Mounting Method 固定方式

PCB PCB TYPE

③ Output Current 輸出電流

03 : 3A
05 : 5A

④ Input Method 輸入方式

D: DC VOLTAGE

⑤ Output Voltage 輸出電壓

D: DC 5~60V
A: AC 24~280V

SSR SERIES



Control Method

Zero Cross Trigger Method

Output TURN ON or TURN OFF

only on Zero Cross Point of sine wave, may avoid surge

or EMI / RFI emitting.

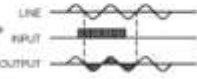
Specially suited to control resistive, capacitive and

Non-saturated inductive loads.

輸出只在正弦波過零點才會動作或關閉，可避免尖峰

波或 EMI / RFI 對周邊設備造成干擾，適用於電阻

和飽和性電感負載。



Variable Resistance Control Method

< Trimmer Control Method >

Power Output is Controlled by the Trigger Angle of Time

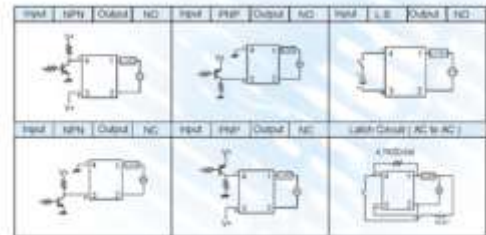
with Variable Resistor 250K Ω (10VAC, 50V Ω 220VAC)

輸出功率可透過電阻 250K Ω (10VAC, 50V Ω 220VAC)

調節 Time 變阻器決定輸出功率。



Application Hints



FOTEK SSR SERIES DC TO AC SOLID STATE RELAY

Specification

Type	Terminal Type						PCB Type
Model	SSR-10DA	SSR-25DA	SSR-40DA	SSR-25DA-H	SSR-40DA-H	SSR-PE30DA	
Rated Load Current	10A	25A	40A	25A	40A	3A	
Input Data							
Operating Voltage	3~32VDC						
Min. ON/OFF Voltage	ON = 2.4V, OFF = 1.0V						
Trigger Current	7.5mA/12V						
Control Method	Zero-Cross Trigger						
Output Data							
Operating Voltage	24~380VAC			90~480VAC		24~380VAC	
Min. Blocking Voltage	500 VAC > Repetitive >						
Voltage Drop	1.5 V / 25 °C						
Max. Sustained Current	10A	25A	40A	25A	40A	3A	
Leakage Current	3.0mA	3.0mA	3.0mA	3.0mA	3.0mA	3.0mA	
Response Time	ON < 10ms, OFF < 10ms						
General Data							
Dielectric Strength	Over 3.5kVAC / 1min						
Isolation Strength	Over 500VDC / 500VDC						
Operating Temperature	-30 °C ~ +85 °C						
Housing Material	Intensive ABS						
Weight	Appr. 100g					Appr. 15g	
Connection Diagram							

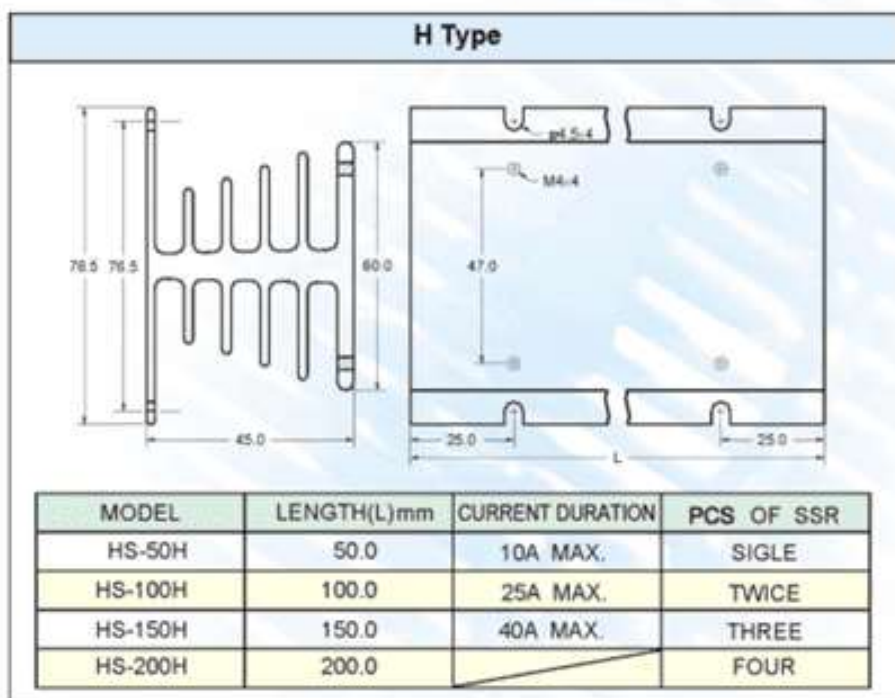
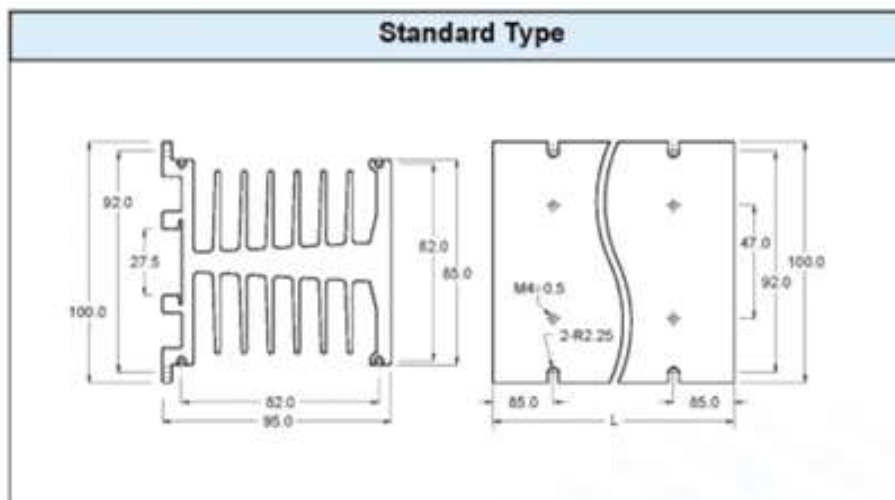
FOTEK SSR SERIES HIGH CURRENT DC TO AC SOLID STATE RELAY

Specification

Type	Terminal Type			
Model	SSR-50DA	SSR-75DA	SSR-100DA-H	SSR-150DA-H
Rated Load Current	50A	75A	100A	150A
Input Data				
Operating Voltage	3~32VDC			
Min. On / Off Voltage	ON≥2.4V, OFF≤1.0V			
Trigger Current	7.5mA / 12V			
Control Method	Zero-Cross Trigger			
Operating Data				
Operating Voltage	24~380VAC		90~480VAC	
Min. Blocking Voltage	500 VAC<Repetitive>			
Voltage Drop	1.5V / 25℃			
Max. Sustained Current	50A	75A	100A	150A
Leakage Current Max	3.0mA	3.0mA	3.0mA	3.0mA
Response Time	ON<10ms, OFF<10ms			
General Data				
Dielectric Strength	Over 2.5kVAC/1min			
Isolation Strength	Over 500VDC / 500VDC			
Operating Temperature	-30℃~+85℃			
Housing Material	Intensive ABS			
Weight	Appr. 125g			
Connection Diagram/Dimension				

Anexos 1.5.1: Continuación de hoja de datos Relé.

■ Dimension < Heat Sink >



Anexos 2: Cuestionario para entrevista semiestructurada a Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica.

Entrevista Semi-estructurada a Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica

Objetivo: Obtener información detallada sobre el sistema actual de medición y facturación de energía, identificar problemas relacionados con pérdidas de energía en el sistema actual y comprender las estrategias y planes implementados por la empresa para reducir dichas pérdidas. Asimismo, explorar los requisitos técnicos para la implementación de un sistema de medición y gestión de energía prepago.

Entrevistados potenciales: Gerentes de Operaciones, Ingenieros de Medición, Especialistas en Facturación.

Sección 1: Estructura del Sistema de Medición y Facturación Actual

1. **¿Podría describirnos el sistema actual de medición y facturación de energía eléctrica?**
 - **Subpreguntas:** ¿Qué tecnologías y dispositivos de medición utilizan actualmente? ¿Qué procesos se siguen para la lectura de medidores y la generación de facturas?
2. **¿Cómo se gestiona la recolección de datos de consumo?**
 - **Subpreguntas:** ¿El sistema es automático o manual? ¿Cuál es la frecuencia de lectura y transmisión de datos?
3. **¿Cuáles son las características y funciones de los medidores electrónicos y bicuerpos que utilizan actualmente en el sistema?**
 - **Subpreguntas:** ¿Estos medidores permiten la medición remota y en tiempo real? ¿Qué beneficios han observado con el uso de estos medidores en comparación con tecnologías anteriores?

Sección 2: Retos, Problemas y Estrategias Relacionadas con las Pérdidas de Energía

4. **¿Cuáles son las principales causas de las pérdidas técnicas y no técnicas en el sistema?**
 - **Subpreguntas:** ¿Cuáles son los retos que enfrentan en la medición y facturación de energía eléctrica relacionados con las pérdidas de energía?
5. **¿Qué medidas ha implementado la empresa para mitigar las pérdidas de energía?**
 - **Subpreguntas:** ¿Hay planes específicos para la reducción de pérdidas técnicas o fraudes en el consumo de energía? ¿Cuáles han sido los resultados hasta ahora?
6. **¿Existen problemas comunes reportados por los clientes que puedan estar asociados a las pérdidas de energía o errores en la facturación?**
 - **Subpreguntas:** ¿Qué tan frecuentes son las disputas de facturación y cómo suelen resolverlas?

Anexos 2.1: Continuación de cuestionario de entrevista semi estructurada.

Sección 3: Requisitos y Especificaciones Técnicas para un Sistema de Medición y Gestión de Energía Prepago

7. **¿Cuál es la posición de la empresa respecto a la implementación de un sistema de energía prepago?**
 - **Subpreguntas:** ¿Se ha analizado el impacto en los usuarios y en la operatividad de la empresa?
8. **¿Qué especificaciones técnicas consideran necesarias para un sistema prepago?**
 - **Subpreguntas:** ¿Qué tipo de medidores se requerirían? ¿Necesitaría una red de comunicación diferente para el monitoreo en tiempo real?
9. **¿Qué requisitos de seguridad y confiabilidad son esenciales para implementar el sistema prepago?**
 - **Subpreguntas:** ¿Existen estándares específicos o normativas nacionales e internacionales que deben cumplir?
10. **¿Qué ventajas y desventajas anticipan con la transición hacia un sistema prepago?**
 - **Subpreguntas:** ¿Cómo cambiarían las responsabilidades de la empresa y los consumidores bajo este sistema?

Cierre de la Entrevista

11. **¿Hay algún otro aspecto relacionado con la medición y gestión de energía que considere importante abordar en la implementación de un sistema prepago?**
12. **¿Podría recomendarnos a otros miembros de su equipo o de la empresa que puedan aportar información adicional sobre estos temas?**

Agradezco mucho su tiempo y colaboración en esta entrevista. Como parte de los requisitos académicos de nuestra monografía, y para tener evidencia de las entrevistas realizadas, me gustaría pedir su autorización para tomar una fotografía con usted al finalizar. Esta imagen sería utilizada únicamente como respaldo en la predefensa del trabajo y no será publicada ni compartida en ningún otro contexto.

Entiendo y respeto completamente su privacidad, por lo que si prefiere que no se tome la fotografía, lo respetaremos sin inconvenientes.

Muchas gracias nuevamente por su apoyo y comprensión.

Anexos 3: Medidor Electromecánico.



Anexos 4: Medidor Bicuerpos.



Anexos 5: Transformador de Corriente.



Anexos 6: Proceso de descarte de Medidores.

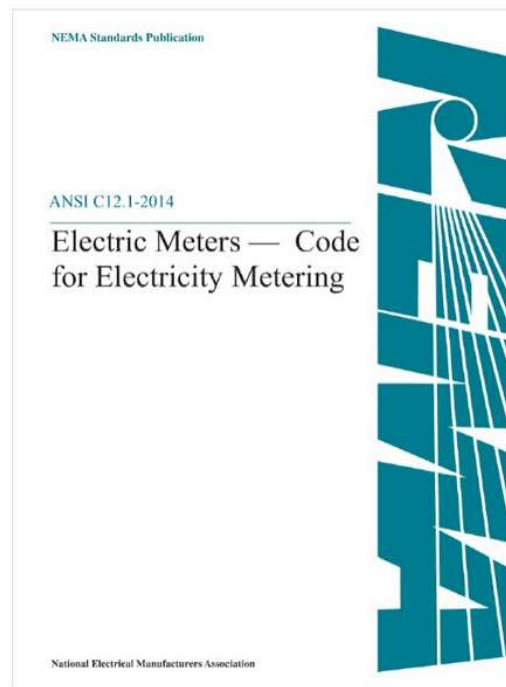


Anexos 7: Bastidores (utilizados como medidas de seguridad en asentamientos para evitar conexiones ilegales).

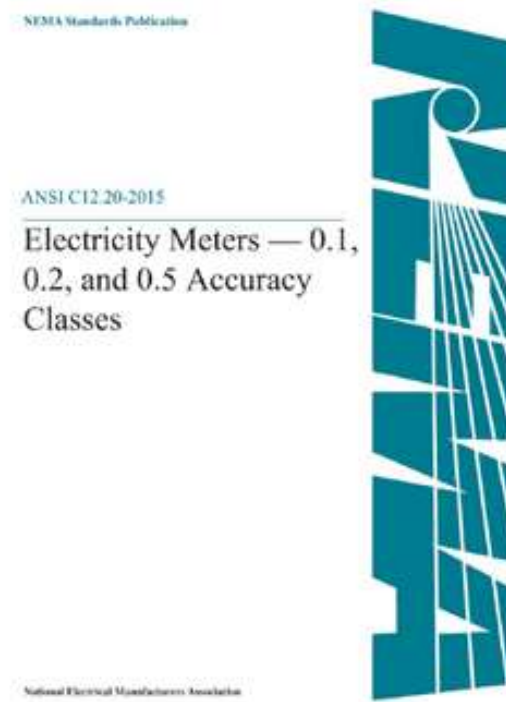


Anexos 8: Normativas ANSI.

Anexos 8.1: ANSI C12.1-2024



Anexos 8.2: ANSI C12.20-2015



Anexos 9: Normativas IEC.

Anexos 9.1: IEC 62052-11



Anexos 9.2: IEC 62053-22

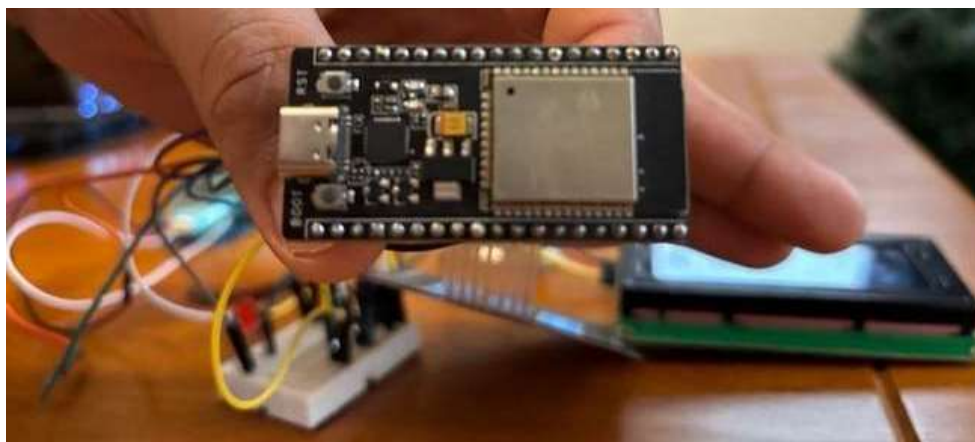


Anexos 9.3: IEC 62057-1



Anexos 10: Pruebas de calibración a cada componente.

Anexos 10.1: ESP32



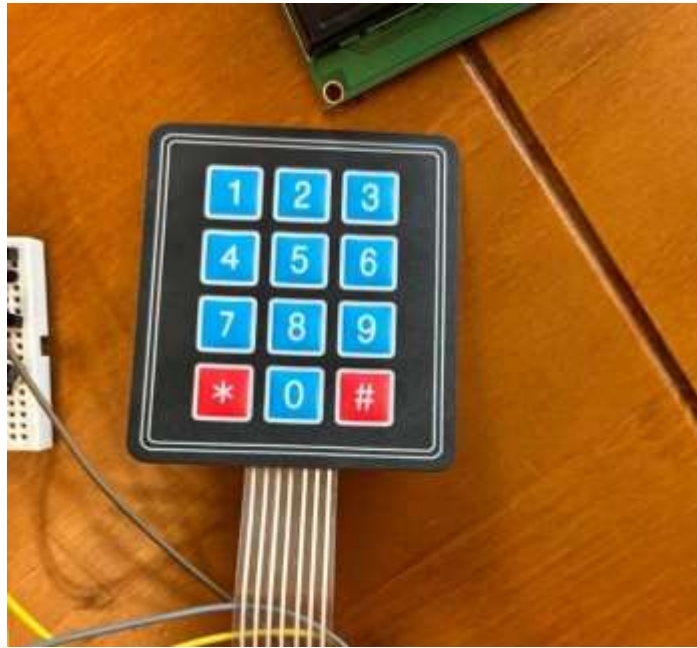
Anexos 10.2: PZEM



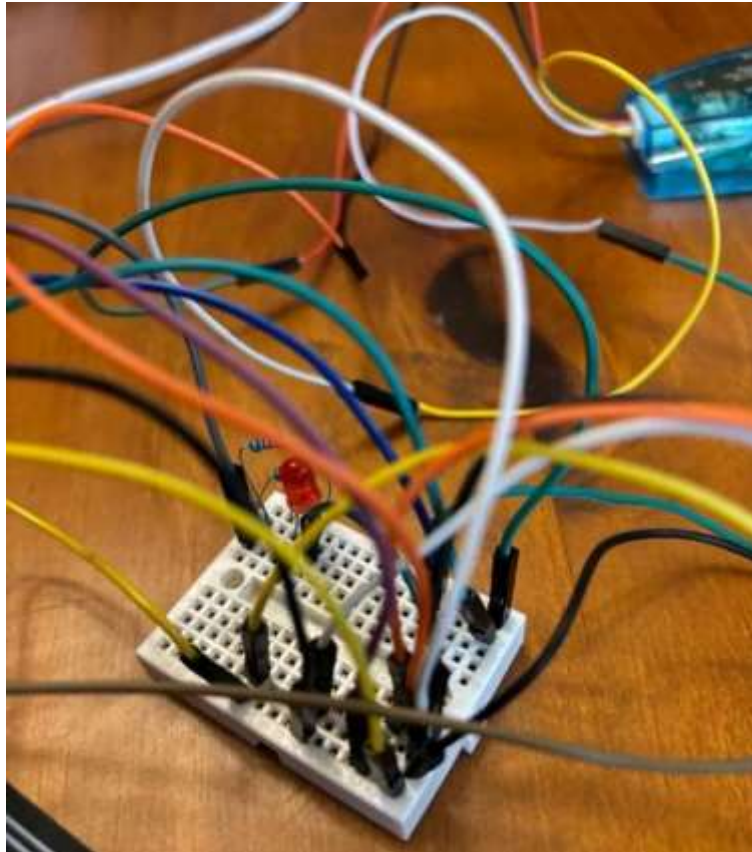
Anexos 10.3: Pantalla LCD 20x4



Anexos 10.4: Teclado matricial 4x3



Anexos 10.5: Mini protoboard, resistencias de 1k, led rojo, conectores



Anexos 11: Código de programación.

```
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <EEPROM.h>
#include <WiFi.h>
#include "ThingSpeak.h"

// Configuración del Keypad
const uint8_t ROWS = 4;
const uint8_t COLS = 3;
char keys[ROWS][COLS] = {
  { '1', '2', '3' },
  { '4', '5', '6' },
  { '7', '8', '9' },
  { '*', '0', '#' }
};
uint8_t colPins[COLS] = { 25, 33, 32 };
uint8_t rowPins[ROWS] = { 12, 14, 27, 26 };
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

// Configuración de pantalla LCD 20x4
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Ajustar la dirección si es
necesario

// Configuración de PZEM004Tv30
#define PZEM_RX_PIN 17
#define PZEM_TX_PIN 16
#define pinLedImpulso 23
#define pinRele 19
PZEM004Tv30 pzem(Serial2, PZEM_RX_PIN, PZEM_TX_PIN);

// Configuración de Wi-Fi y ThingSpeak
const char* ssid = "Redmi";
const char* password = "12345678";
unsigned long myChannelNumber = 2725881;
const char * myWriteAPIKey = "II0RVXEBAZ43EHVN";
WiFiClient client;

// Configuración de EEPROM
#define EEPROM_SIZE 8 // Tamaño para almacenar float (4 bytes cada
uno)
#define ADDR_ENERGY_ACCUM 0 // Dirección para energyAccumulator
```

```

#define ADDR_ENERGY_PURCHASED 4    // Dirección para energyPurchased

// Variables de energía
float energyAccumulator = 0;
float energyPurchased = 0;
unsigned long lastReadingTime = 0;

// Variables para el ingreso del código de compra
String inputCode = ""; // Almacena el código ingresado
bool codigoValido = false;
bool releActivado = false;

// Diccionario de códigos de compra
struct Code {
    String code;
    float kWh;
};
Code codes[] = {
    {"12345", 25},
    {"42356", 50},
    {"29344", 100},
    {"31593", 150},
    {"32595", 2}
};
const int numCodes = sizeof(codes) / sizeof(codes[0]);

// Variables de impulsos
const float KH = 25600; // Impulsos por kWh
float accumulatedImpulses = 0; // Acumulador de impulsos intermedios

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Inicializar EEPROM
    EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);

    // Inicializar I2C con pines especificados
    Wire.begin(21, 22); // SDA = 21, SCL = 22 en ESP32

    // Escaneo de dispositivos I2C para verificar dirección del LCD
    Serial.println("Escaneo de dispositivos I2C...");
    for (uint8_t address = 1; address < 127; ++address) {
        Wire.beginTransmission(address);
        if (Wire.endTransmission() == 0) {
            Serial.print("Dispositivo encontrado en 0x");

```

```

        Serial.println(address, HEX);
    }
}
Serial.println("Escaneo de I2C terminado.");

// Inicialización de LCD
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
delay(100); // Delay para estabilizar LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Ingrese codigo");
delay(1000);

// Configuración del relé y LED de impulso
pinMode(pinRele, OUTPUT);
pinMode(pinLedImpulso, OUTPUT);
digitalWrite(pinRele, LOW);
digitalWrite(pinLedImpulso, LOW);

// Inicializar WiFi y ThingSpeak
ThingSpeak.begin(client);
connectWiFi();

// Recuperar energía acumulada y energía comprada de la EEPROM
EEPROM.get(ADDR_ENERGY_ACCUM, energyAccumulator);
EEPROM.get(ADDR_ENERGY_PURCHASED, energyPurchased);

// Validar que los valores no sean NaN o valores inválidos
if (isnan(energyAccumulator)) energyAccumulator = 0;
if (isnan(energyPurchased)) energyPurchased = 0;

Serial.printf("Recuperando Energia Acumulada: %.5f kWh\n",
energyAccumulator);
Serial.printf("Energia Comprada: %.5f kWh\n", energyPurchased);

// Activar relé si hay energía comprada restante
if (energyPurchased > 0) {
    activarRele();
    codigoValido = true;
} else {
    codigoValido = false;
    lcd.clear();
    delay(100);
    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

        lcd.print("Ingrese nuevo cod");
    }

    lastReadingTime = millis();
}

void loop() {
    procesarEntradaTeclado(); // Procesar el ingreso del código usando
    el teclado matricial

    // Monitoreo de energía si el código es válido
    if (codigoValido) {
        monitorearEnergia();
    }

    delay(100); // Reduce la frecuencia de procesamiento del loop para
    mejorar la respuesta
}

// Procesar entrada del teclado para el código de compra de energía
void procesarEntradaTeclado() {
    char key = keypad.getKey(); // Lee la tecla presionada

    if (key) { // Si hay una tecla presionada
        if (key == '0') { // Reinicio manual si se presiona '0'
            resetearEnergiaComprada();
        } else if (key == '*') { // Reinicia el código si se presiona
            '*'

            inputCode = "";
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("Codigo reiniciado");
            delay(300); // Reduce el delay para mejor respuesta visual
        } else if (key == '#') { // Finaliza el ingreso y verifica el
            código si se presiona '#'
            verificarCodigo();
            inputCode = ""; // Reiniciar para permitir entrada de
            nuevo código si es incorrecto
        } else if (inputCode.length() < 5) { // Limita el código a 5
            dígitos

            inputCode += key;
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Cod: " + inputCode);
        }
    }
}

```

```

}

// Reiniciar manualmente la energía comprada y acumulada
void resetearEnergiaComprada() {
    energyPurchased = 0;
    energyAccumulator = 0;
    codigoValido = false;
    releActivado = false;
    digitalWrite(pinRele, LOW);

    // Guardar cambios en la EEPROM
    EEPROM.put(ADDR_ENERGY_PURCHASED, energyPurchased);
    EEPROM.put(ADDR_ENERGY_ACCUM, energyAccumulator);
    EEPROM.commit();

    // Mostrar mensaje en la pantalla
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Energia reiniciada");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.print("Ingrese nuevo cod");
}

// Verificar el código ingresado y actualizar la energía comprada
void verificarCodigo() {
    lcd.clear();
    for (int i = 0; i < numCodes; i++) {
        if (inputCode == codes[i].code) {
            energyPurchased += codes[i].kWh;
            lcd.print("Compra de " + String(codes[i].kWh) + " kWh");
            delay(2000);

            // Activar el relé después de una compra exitosa
            activarRele();

            lcd.clear();
            lcd.print("Energia actual: ");
            lcd.print(energyPurchased);
            lcd.print(" kWh");
            delay(2000);

            // Guardar estado actualizado en EEPROM
            EEPROM.put(ADDR_ENERGY_PURCHASED, energyPurchased);
            EEPROM.commit();
        }
    }
}

```

```

        return;
    }
}

lcd.print("Codigo incorrecto");
delay(1500); // Reduce delay para permitir corrección rápida
lcd.clear();
lcd.print("Ingrese codigo:");
}

// Activar el relé y reiniciar la energía acumulada
void activarRele() {
    codigoValido = true;
    digitalWrite(pinRele, HIGH);
    releActivado = true;

    lcd.clear();
    delay(100);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Compra: " + String(energyPurchased, 4) + "kWh");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Energia disp");

    delay(1500); // Reduce delay para una respuesta más rápida

    energyAccumulator = 0;
    EEPROM.put(ADDR_ENERGY_ACCUM, energyAccumulator);
    EEPROM.put(ADDR_ENERGY_PURCHASED, energyPurchased);
    EEPROM.commit();
    lastReadingTime = millis();
}

// Monitorear energía y reducir la energía comprada en función del
consumo
void monitorearEnergia() {
    float VOLTAGE = zeroIfNan(pzem.voltage());
    float CURRENT = zeroIfNan(pzem.current());
    float POWER = zeroIfNan(pzem.power());

    if (CURRENT < 0.01 && POWER < 1) {
        pzem.resetEnergy();
    }

    unsigned long currentTime = millis();

```

```

    float timeElapsed = (currentTime - lastReadingTime) / 3600000.0; //
    Tiempo en horas
    lastReadingTime = currentTime;

// Calcular energía consumida
    float energyConsumed = (POWER * timeElapsed) / 1000.0; // Energía
    en kWh
    accumulatedImpulses += energyConsumed * KH;

// Generar impulsos de LED
    while (accumulatedImpulses >= 1.0) {
        digitalWrite(pinLedImpulso, HIGH);
        delay(50); // LED encendido 50 ms
        digitalWrite(pinLedImpulso, LOW);
        accumulatedImpulses -= 1.0;
    }

    energyAccumulator += energyConsumed;
    energyPurchased -= energyConsumed;

// Guardar datos en EEPROM periódicamente
    static unsigned long lastSaveTime = 0;
    if (millis() - lastSaveTime >= 5000) {
        EEPROM.put(ADDR_ENERGY_ACCUM, energyAccumulator);
        EEPROM.put(ADDR_ENERGY_PURCHASED, energyPurchased);
        EEPROM.commit();
        lastSaveTime = millis();
    }

    if (energyPurchased <= 0) {
        codigoValido = false;
        releActivado = false;
        digitalWrite(pinRele, LOW);
        Serial.println("Se ha agotado la energía comprada. Relé
desactivado.");

        energyAccumulator = 0;
        EEPROM.put(ADDR_ENERGY_ACCUM, energyAccumulator);
        EEPROM.put(ADDR_ENERGY_PURCHASED, energyPurchased);
        EEPROM.commit();

        lcd.clear();
        delay(100);
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Energia agotada");
    }

```

```

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Ingrese nuevo cod");
    } else {
        update_lcd_and_thingspeak(VOLTAGE, CURRENT, POWER,
energyPurchased);
    }
}

// Actualizar la LCD y ThingSpeak
void update_lcd_and_thingspeak(float voltage, float current, float
power, float energyRemaining) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("V: " + String(voltage, 2) + "V I: " + String(current, 2)
+ " Amp");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("P: " + String(power, 2) + " W          ");

    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("E Acum: " + String(energyAccumulator, 3) + " kWh");

    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("E Rest: " + String(energyRemaining, 3) + " kWh");

    sendToThingSpeak(voltage, current, power, energyRemaining);
}

// Convertir NaN a cero para evitar errores de lectura
float zeroIfNan(float value) {
    return isnan(value) ? 0 : value;
}

// Enviar datos a ThingSpeak
void sendToThingSpeak(float voltage, float current, float power, float
energyRemaining) {
    ThingSpeak.setField(1, voltage);
    ThingSpeak.setField(2, current);
    ThingSpeak.setField(3, power);
    ThingSpeak.setField(4, energyAccumulator);
    ThingSpeak.setField(5, energyRemaining);

    int response = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber,
myWriteAPIKey);
    if (response == 200) {
        Serial.println("Actualización exitosa en ThingSpeak.");
    }
}

```

```

    } else {
        Serial.println("Error al actualizar ThingSpeak. Código: " +
String(response));
    }
}

// Conexión a Wi-Fi usando el nuevo método
void connectWiFi() {
    WiFi.begin(ssid, password);
    delay(2000);
    Serial.print("Se está conectando a la red WiFi denominada ");
    Serial.println(ssid);

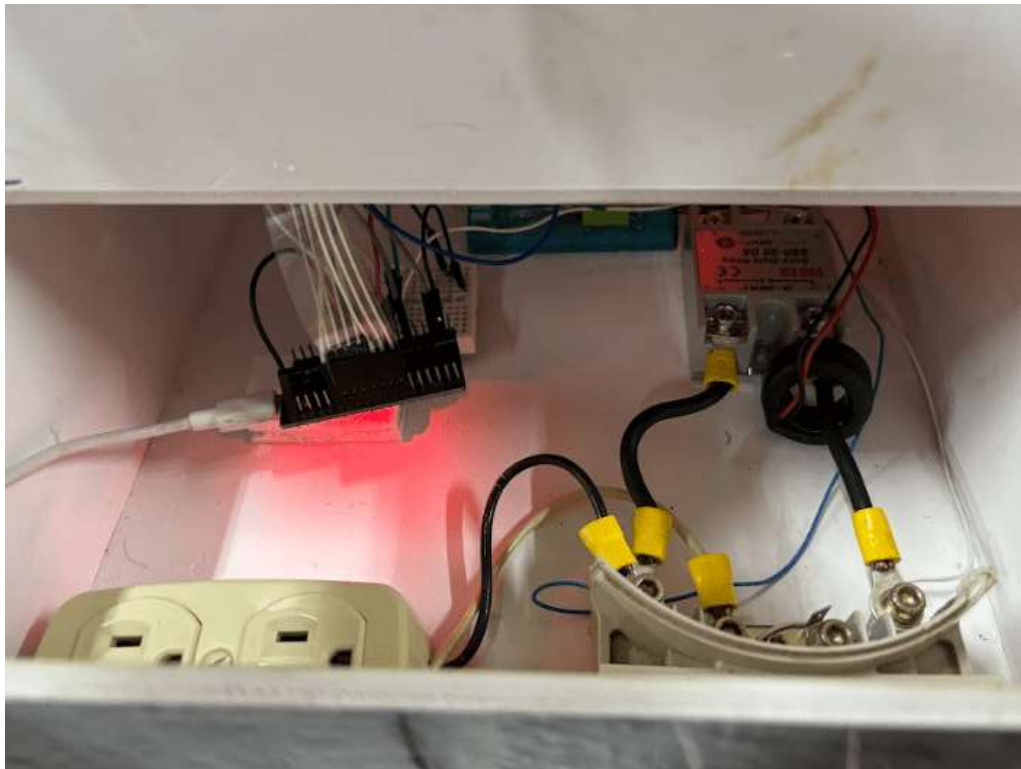
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.print("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

```

Anexos 12: Prueba piloto.





Anexos 14: Carta de solicitud de pruebas en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

29 de octubre, 2024

Managua, Nicaragua

Mtr. Ing. Emmanuel Canda
Director Especifico de Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP)

*Vale Sr. Shelsen Jose Rodriguez
por favor atender la solicitud. Revisar
la disponibilidad del laboratorio*

[Handwritten signature]


Estimado Mtr. Canda:

Espero que se encuentre bien. Me dirijo a usted con el fin de solicitar el uso del Laboratorio de Máquinas Eléctricas ubicado en el recinto Simón Bolívar (UNI-RUSB) el día viernes 8 de noviembre de 2024. Este espacio es crucial para llevar a cabo pruebas relacionadas con nuestro trabajo monográfico titulado "Desarrollo de un prototipo de sistema de medición y gestión de energía prepago utilizando el microcontrolador ESP32 e integrando conceptos de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia y precisión en la administración del consumo eléctrico en los usuarios residenciales con tarifa T0 en Nicaragua".

Las pruebas que planeamos realizar son fundamentales para el análisis y la presentación de resultados de nuestro trabajo monográfico, y consideramos que el laboratorio de máquinas eléctricas es el lugar más adecuado para ello. Apreciaríamos enormemente si pudiera facilitar el apoyo de un supervisor técnico que esté de turno ese día para asegurar que podamos llevar a cabo las pruebas de manera efectiva y segura.

Agradezco de antemano su atención a esta solicitud y quedo a la espera de su pronta respuesta.

Atentamente,

[Handwritten signature]

María José Obando Flores
2020-0013U
Ingeniería Eléctrica

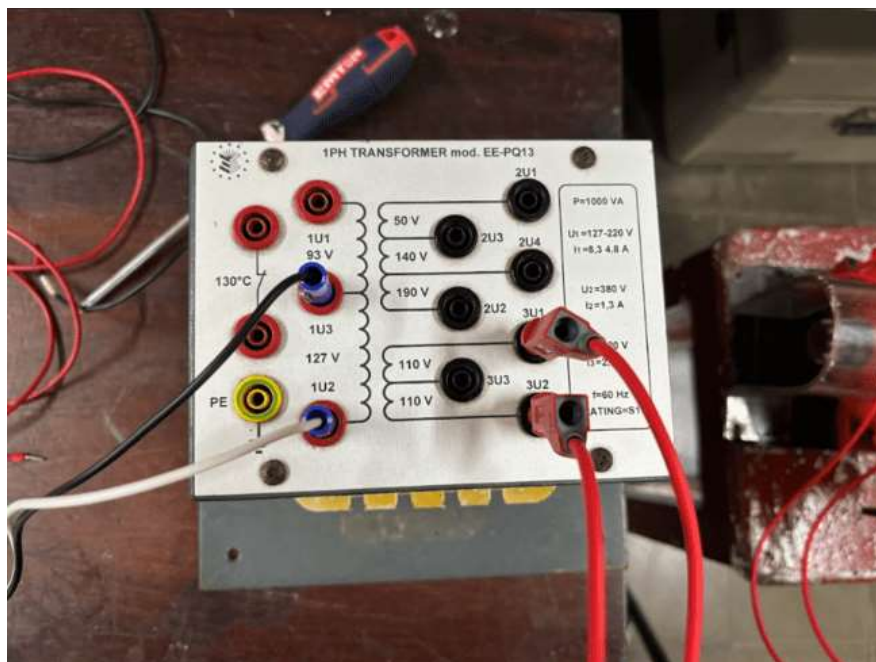
[Handwritten signature]

Lenin Rigoberto Aguilar Pérez
2020-0096U
Ingeniería Eléctrica

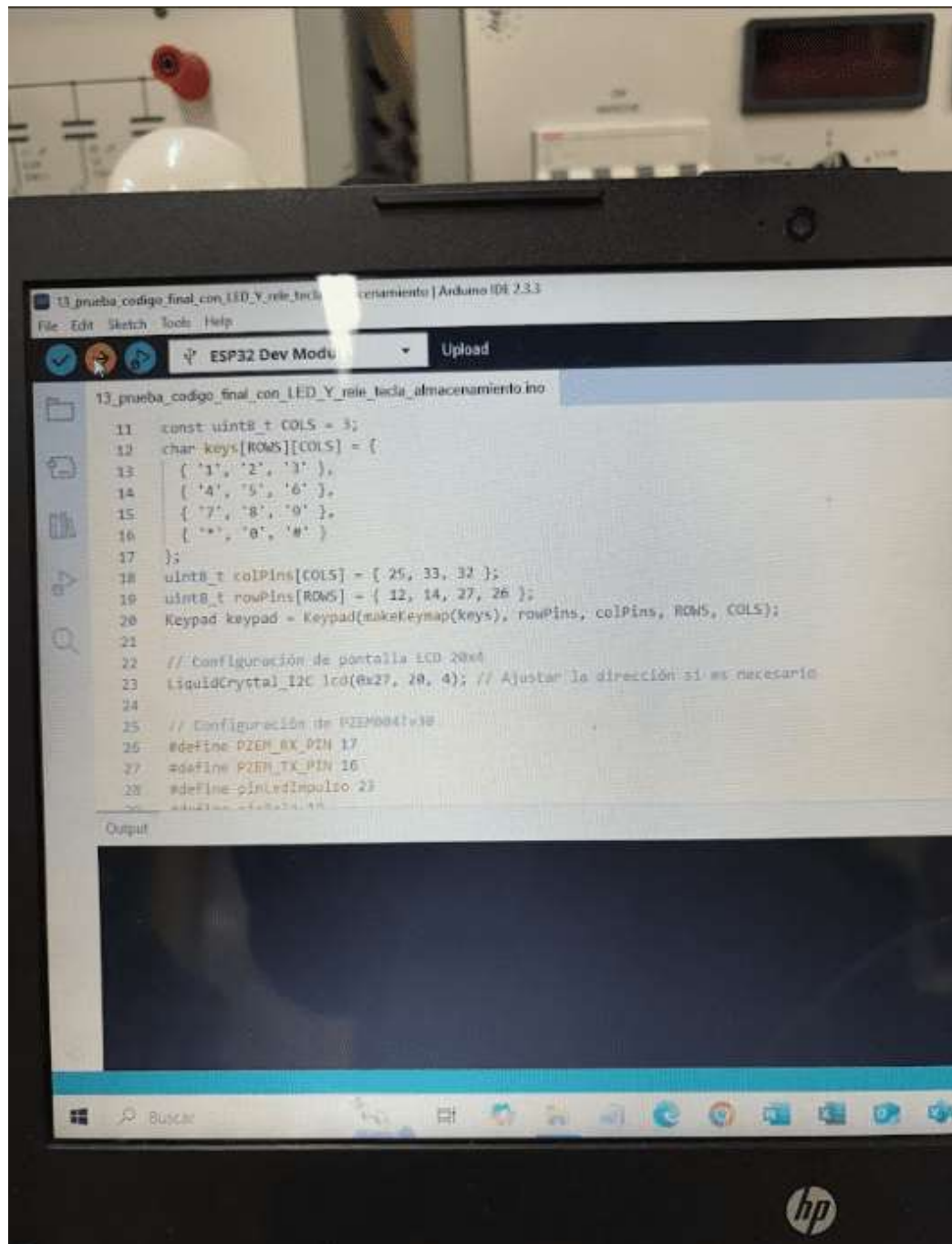
Anexos 15: Fuente de Energía.



Anexos 16: Transformador.



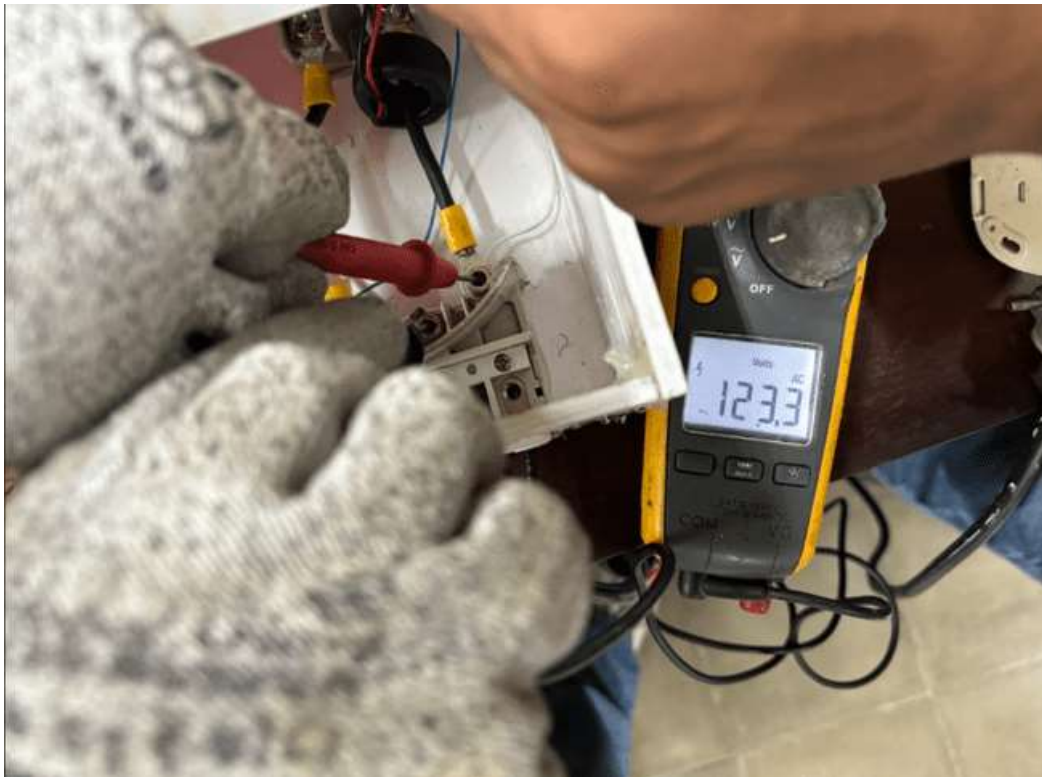
Anexos 17: Proceso de conexión y compra.



Anexos 17.1: Continuación de proceso de conexión y compra.



Anexos 18: Multímetro FLUKE.



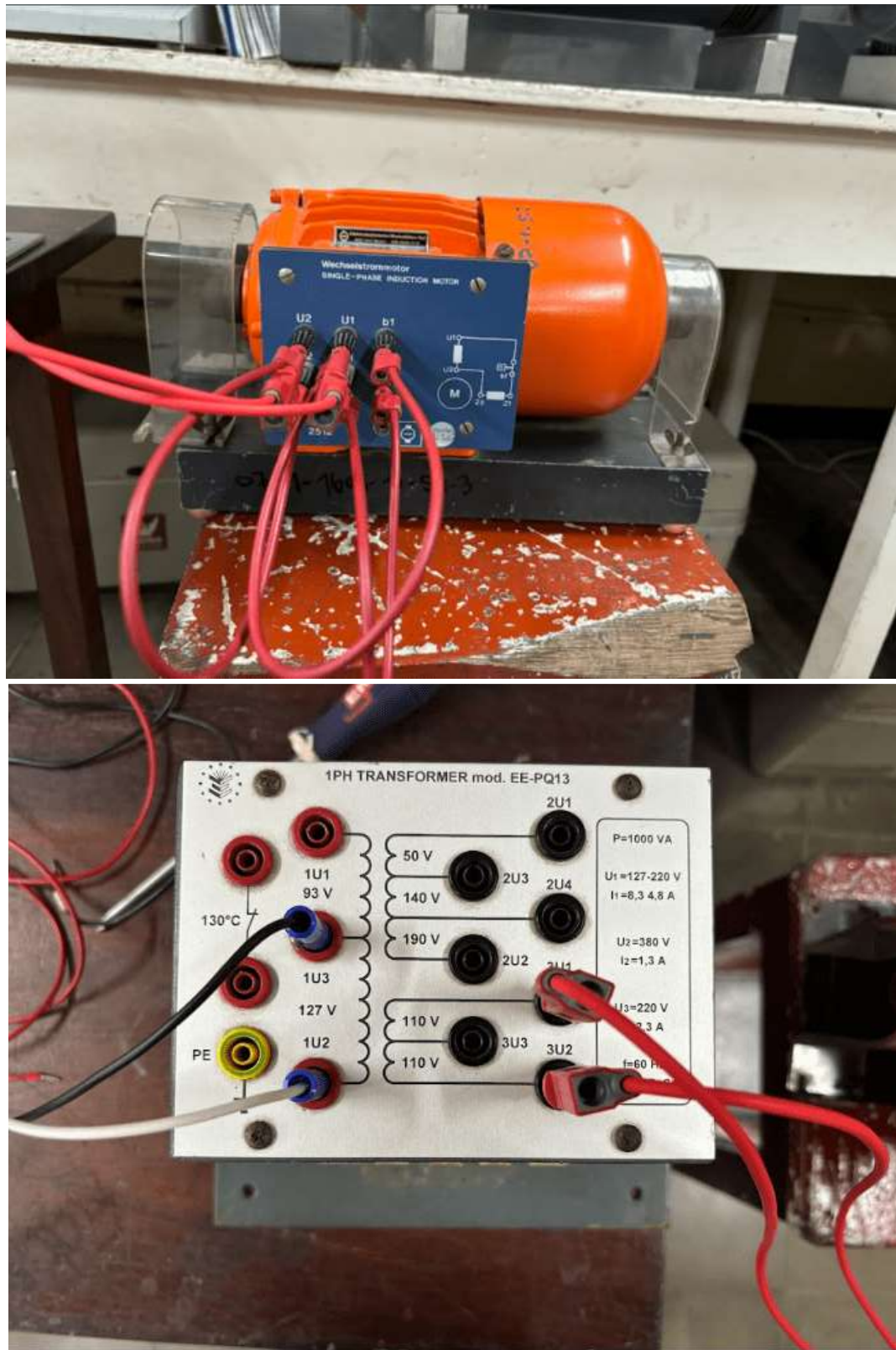
Anexos 19: Comparación de lectura con respecto al medidor.



Anexos 20: Carga 1 y 2 (Cargador de Celular y Bujía).



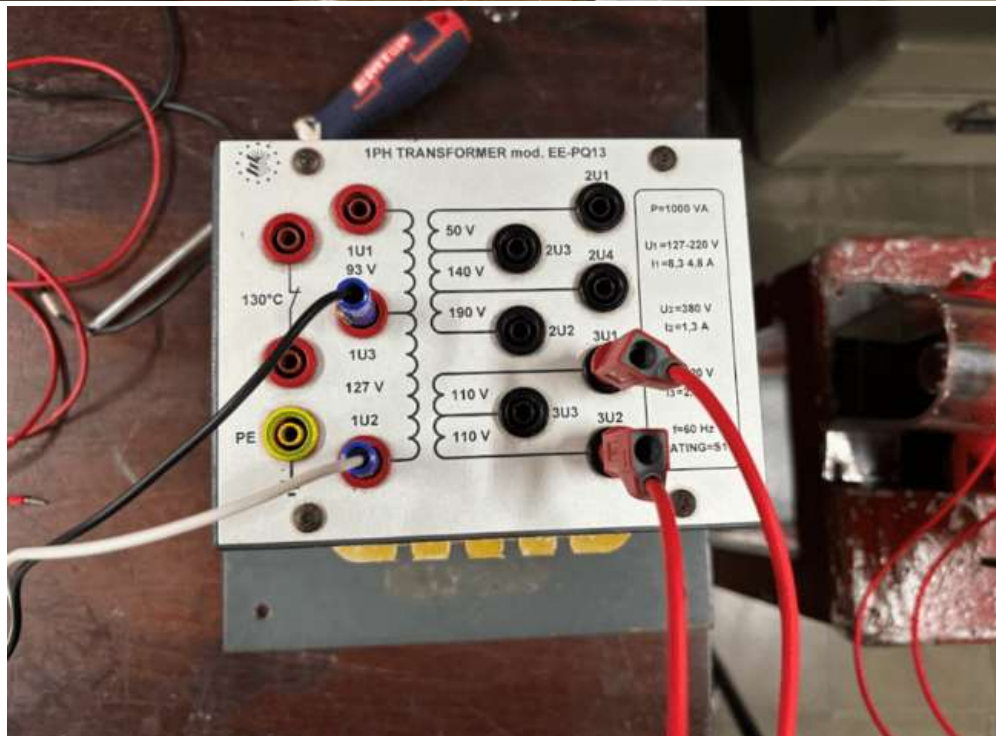
Anexos 21: Carga 3 (Motor 1).



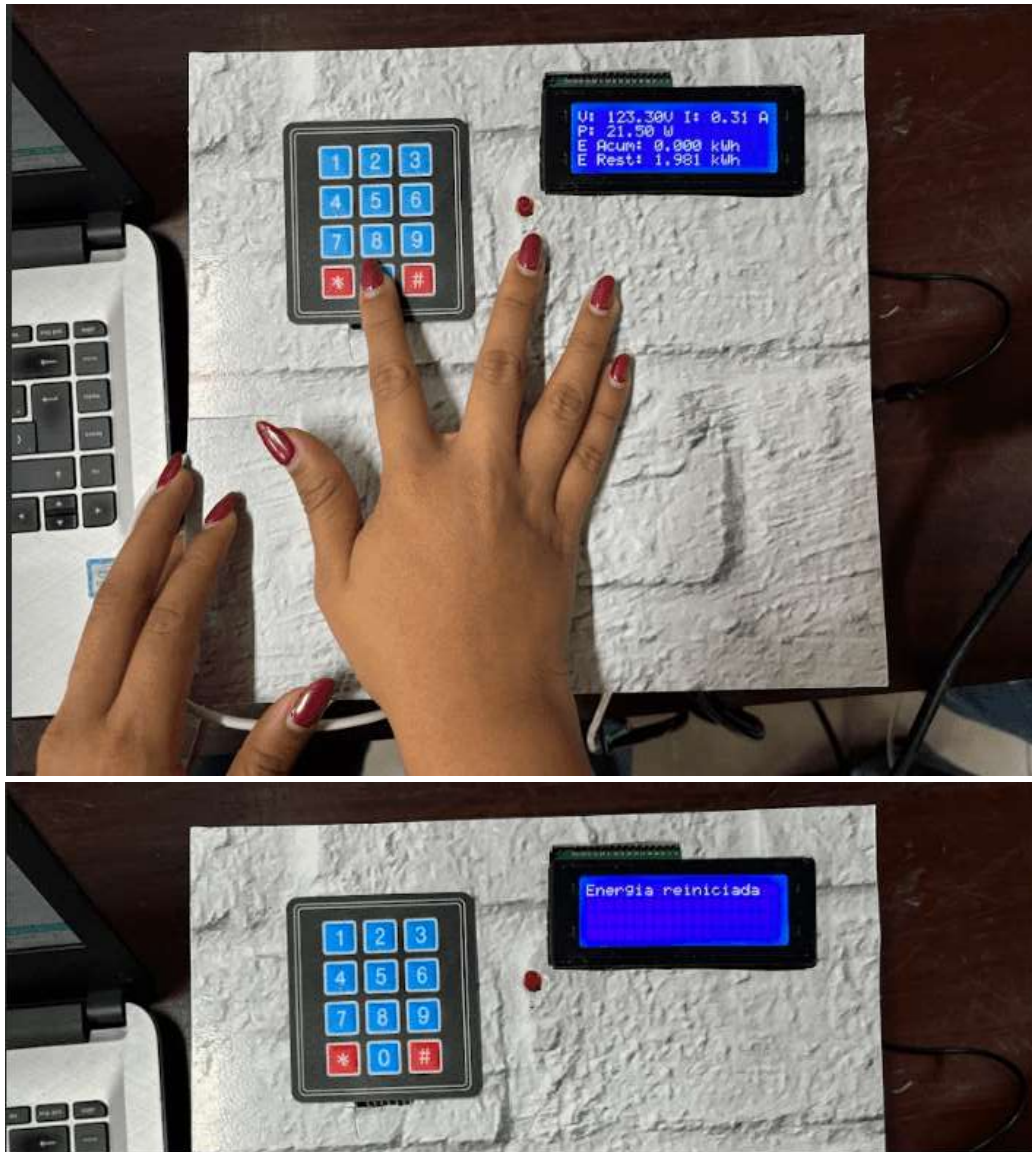
Anexos 21.1: Continuación de Carga 3 (Motor 1).



Anexos 22: Carga 4 (Motor 2).



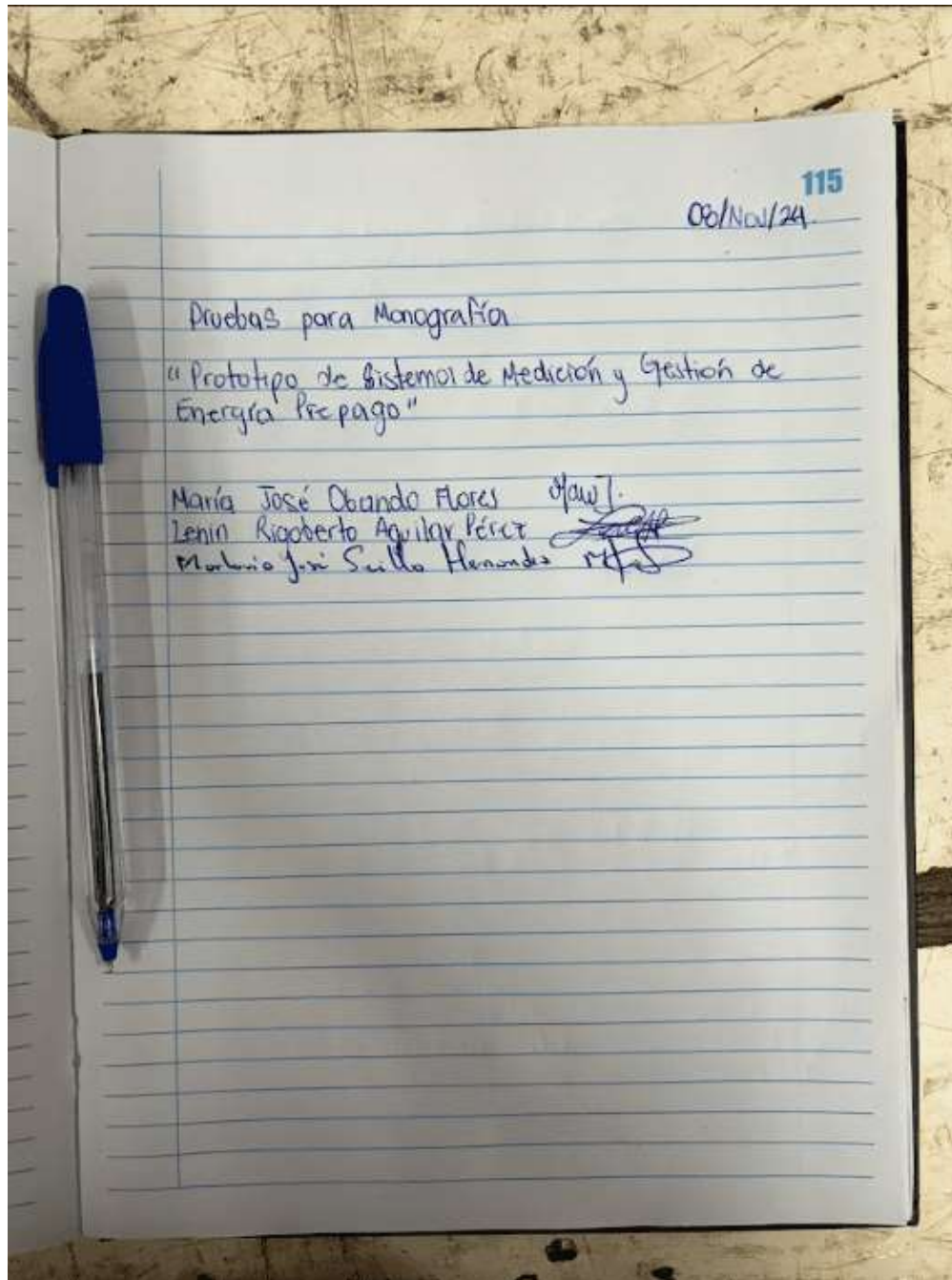
Anexos 23: Corte manual de la energía (con el fin de verificar el funcionamiento del relé).



Anexos 24: Prueba en Laboratorio UNI finalizada.



Anexos 24.1: Continuación de Prueba en Laboratorio UNI finalizada (asistencia).



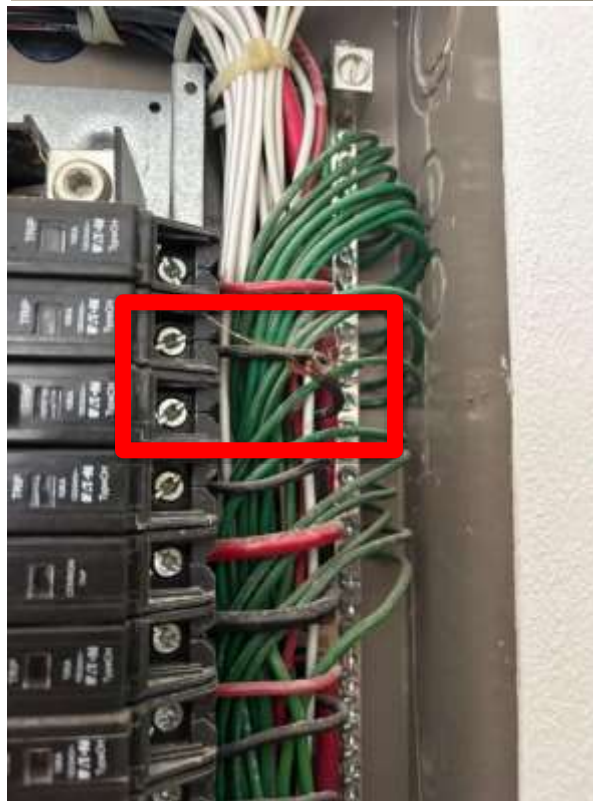
Anexos 25: Carga conectada para la prueba (calentador).



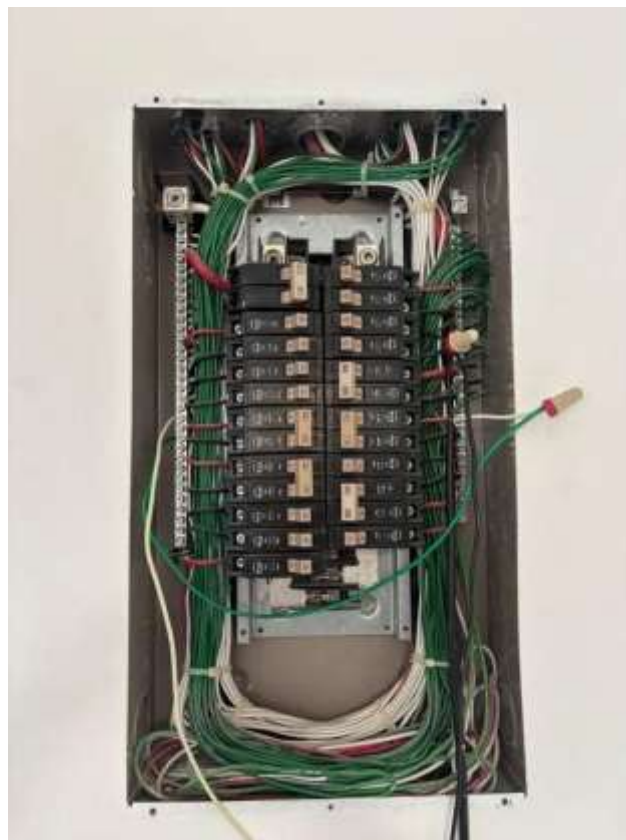
Anexos 26: Comparación de las mediciones del patrón ZERA con el Medidor de Energía Prepago.



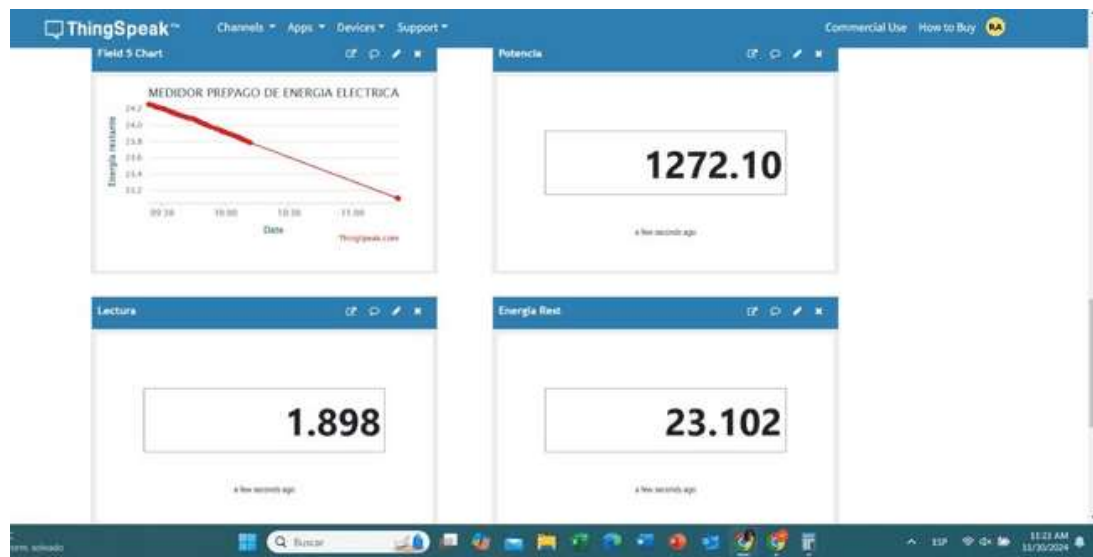
Anexos 27: Conexión del panel eléctrico al prototipo.



Anexos 28: Conexión del prototipo al panel eléctrico.



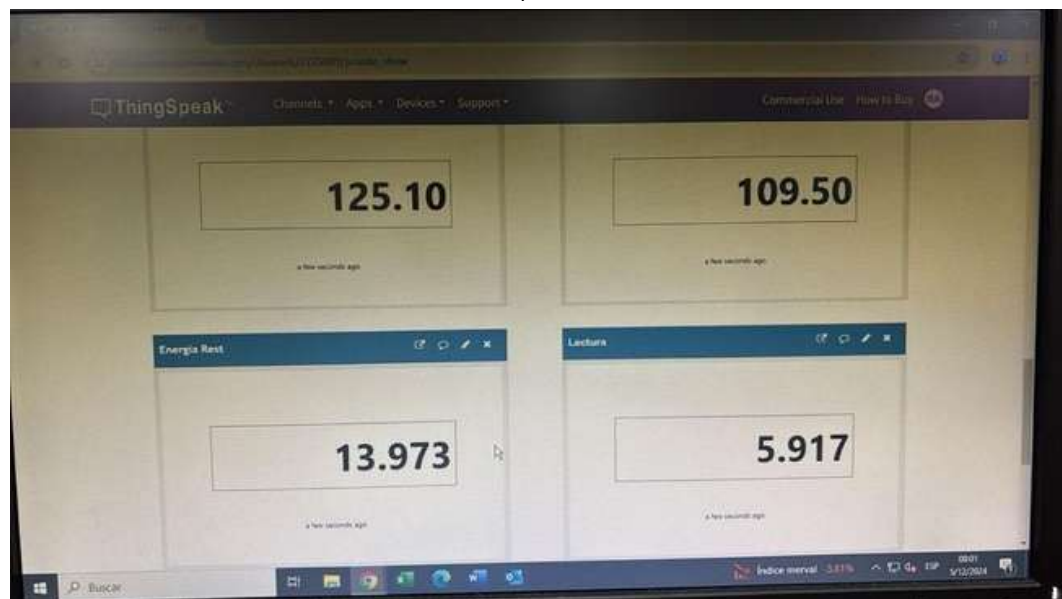
Anexos 29: Visualización de los parámetros en ThingSpeak.



Anexos 30: Progreso del consumo de la energía comprada.

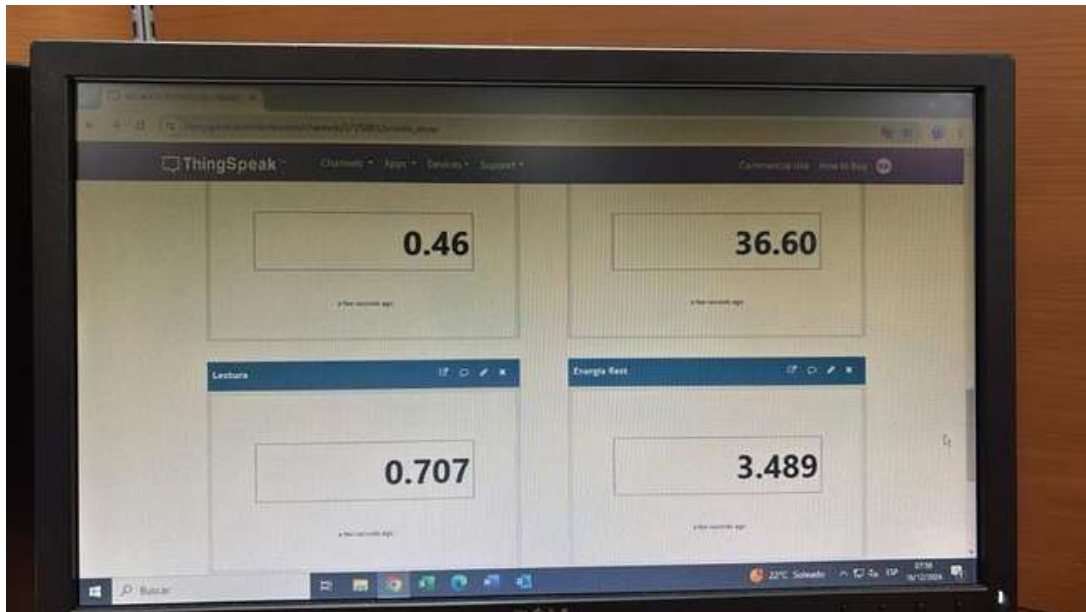
Anexos 30.1

5 de diciembre, 2024 - 08:01 am



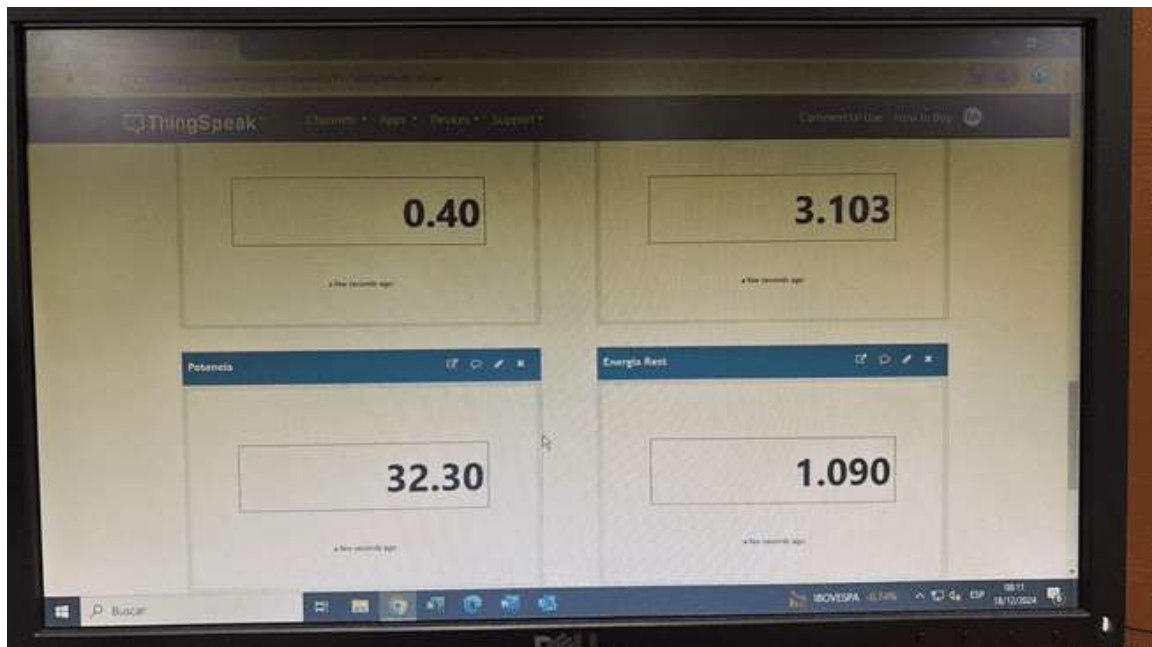
Anexos 30.2

16 de diciembre, 2024 – 07:59 am



Anexos 30.3

18 de diciembre, 2024 – 08:11 am



Anexos 31: Corte automático de energía.

