



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Tecnología Superior en Electricidad

**Título: Sistema de detección y monitoreo de anomalías en la red eléctrica  
que detecte sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra.**

Trabajo previo a la obtención del título de Tecnólogo/a Superior en  
Electricidad

Adrián Felipe Giler Cevallos

Andy Eddy Cruz Valle

Director: Ing. David Galindo

Cuenca-Ecuador

2026

## **Dedicatoria**

Dedicamos el presente trabajo a nuestras familias, por su apoyo incondicional, motivación constante y confianza a lo largo de nuestra formación académica.

## **Agradecimientos**

A la Universidad del Azuay, por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente.

A nuestros docentes, por compartir sus conocimientos y guiarnos durante este proceso académico.

## Resumen

El presente trabajo de titulación describe el diseño, simulación e implementación de un sistema de detección y monitoreo de anomalías en redes eléctricas residenciales. El sistema es capaz de identificar en tiempo real tres tipos de fallas: sobreconsumo, cortocircuito y fuga a tierra, utilizando como unidad de procesamiento un microcontrolador ESP32 en conjunto con el módulo de medición PZEM-004T, el cual adquiere variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia y factor de potencia. El sistema opera comparando los valores medidos contra umbrales preestablecidos; al detectar una anomalía, interrumpe automáticamente el suministro eléctrico mediante un relé y genera alertas visuales en una pantalla LCD y auditivas mediante un buzzer. La validación se realizó en dos etapas: primero mediante simulación en el software Proteus, y posteriormente con una implementación física sobre cargas reales domiciliarias. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema detecta correctamente todas las condiciones de falla evaluadas, actuando de forma inmediata y confiable en cada escenario, lo que lo posiciona como una solución viable de bajo costo para mejorar la seguridad eléctrica en instalaciones residenciales.

**Palabras clave:** detección de anomalías, monitoreo eléctrico, ESP32, PZEM-004T, sobreconsumo, cortocircuito, fuga a tierra, Proteus.

## Abstract

This thesis presents the design, simulation, and implementation of an anomaly detection and monitoring system for residential electrical networks. The system is capable of identifying in real time three types of faults: overconsumption, short circuit, and ground leakage, using an ESP32 microcontroller as the processing unit together with the PZEM-004T measurement module, which acquires electrical variables such as voltage, current, power, and power factor. The system operates by comparing measured values against pre-established thresholds; upon detecting an anomaly, it automatically interrupts the power supply through a relay and generates visual alerts on an LCD screen and audible alerts via a buzzer. Validation was carried out in two stages: first through simulation using Proteus software, and subsequently through a physical implementation tested on real residential

loads. The results demonstrate that the system correctly detects all evaluated fault conditions, responding immediately and reliably in each scenario, making it a viable low-cost solution for improving electrical safety in residential installations.

**Keywords:** anomaly detection, electrical monitoring, ESP32, PZEM-004T, overconsumption, short circuit, ground fault, Proteus.

## Índice de contenido

<b><i>Dedicatoria</i></b> .....	<b><i>ii</i></b>
<b><i>Agradecimientos</i></b> .....	<b><i>iii</i></b>
<b><i>Resumen</i></b> .....	<b><i>iv</i></b>
<b><i>Abstract</i></b> .....	<b><i>iv</i></b>
<b><i>Introducción</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b>Contexto</b> .....	<b>1</b>
<b>Problemática</b> .....	<b>3</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>4</b>
General .....	4
Específicos .....	4
Alcance .....	5
<b>Marco teórico</b> .....	<b>5</b>
<b><i>Materiales y métodos</i></b> .....	<b><i>16</i></b>
<b>Materiales</b> .....	<b>16</b>
<b>Procedimiento</b> .....	<b>17</b>
Diseño del sistema en Proteus .....	17
Programación en Arduino IDE .....	21
<b><i>Resultados en simulación</i></b> .....	<b><i>22</i></b>
<b><i>Resultados en implementación</i></b> .....	<b><i>2</i></b>

<b>Análisis gráfico de resultados</b> .....	<b>30</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>33</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>36</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>39</b>
<b>Simulación en proteus</b> .....	<b>39</b>
<b>Programación en Arduino</b> .....	<b>40</b>
<b>Fotografías de respaldo</b> .....	<b>40</b>

## Índice de tablas

Tabla 1 operacionalización de variables .....	5
Tabla 2 Descripción de insumos .....	16
Tabla 3 Resultados esperados .....	23
Tabla 4 Resultados obtenidos .....	24

## Índice de figuras

Figura 1 Puntos eléctricos domiciliarios .....	2
Figura 2 Microcontrolador .....	12
Figura 3 Sensor .....	13
Figura 4 Pantalla .....	14
Figura 5 Software simulación .....	15
Figura 6 Software programación .....	16
Figura 7 Diagrama de funcionamiento .....	18
Figura 8 Simulación del sistema completo .....	19
Figura 9 Anomalía de sobreconsumo .....	20
Figura 10 Anomalía de cortocircuito .....	20
Figura 11 Anomalía de falla a tierra .....	21
Figura 12 Corte de energía a la carga .....	21
Figura 13 Cargador de celular — operación normal .....	

Figura 14 Ventilador — operación normal .....	26
Figura 15 Detección de sub tensión severa (0.0 V) .....	27
Figura 16 Detección de sobre tensión (216.4 V) .....	28
Figura 17 Detección de sobre corriente — resistencia de 1000 W (8.29 A) .....	28
Figura 18 Detección de sobre corriente — pistolas de calor (5.27 A) .....	29
Figura 19 Prueba de fuga a tierra (120.9 V / 0.03 A) .....	29
Figura 20 Distribución porcentual de los escenarios de prueba evaluados .....	31
Figura 21 Tasa de detección correcta del sistema (7 de 7 pruebas) .....	31
Figura 22 Gráfica radial — voltaje, corriente y potencia normalizados por escenario .....	32
Figura 23 Corriente (A) registrada en cada escenario de implementación física .....	33
Figura 24 Voltaje (V) registrado en cada escenario de implementación física .....	33

## Índice de anexos

Simulación en proteus .....	39
Programación en Arduino .....	40
Fotografías de respaldo .....	40

## Introducción

### Contexto

En el contexto del desarrollo tecnológico y la automatización de procesos, la electricidad desempeña un papel esencial. La sostenibilidad energética global busca reducir la contaminación mediante la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la sociedad. Otro aspecto de la sostenibilidad es la reducción del consumo energético mediante el uso de electrodomésticos de bajo consumo. Para lograr este objetivo, es necesario comprender la información que transmiten los datos técnicos de los electrodomésticos y proporcionar a los consumidores información correcta y completa al elegirlos (Strielkowski et al., 2021).

Según datos extraídos en junio de 2022, en 2021, el consumo energético de los hogares representó el 27 % del consumo energético final, lo que representa el 18,6 % del consumo interior bruto de energía (Ministerio de Energía y Minas, 2023) . La mayor parte del consumo final de energía de los consumidores domésticos se cubrió con energía generada mediante electricidad. Dada la considerable participación de la electricidad en el consumo energético bruto de los consumidores domésticos, es necesario identificar soluciones para detectar y monitorear anomalías en la red eléctrica con la finalidad de reducir sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra.

En este sentido, los datos de carga diaria reflejan los cambios en el comportamiento eléctrico diario. El consumo eléctrico de los usuarios industriales y comerciales es más regular que el de los usuarios residenciales, mientras que el consumo eléctrico de los usuarios residenciales presenta cierta aleatoriedad. Por lo tanto, al analizar la carga de los usuarios industriales y comerciales, el patrón de carga obtenido ofrece mayor relevancia para la investigación y la referencia (Ramos et al., 2025).

Además, las anomalías se refieren a los puntos de datos que difieren significativamente del resto de los datos. La detección de anomalías es importante porque entrenar modelos en un conjunto de datos de redes inteligentes con datos anómalos puede generar sesgos o fallos en la estimación de parámetros y la construcción del modelo. Además de los fallos en la recopilación de datos, los datos anómalos pueden generar un patrón inconsistente debido a

eventos imprevistos o robo de energía. En general, con base en la minería de patrones de carga del usuario, al calcular la diferencia entre el comportamiento de consumo eléctrico del usuario y el ciclo de hábitos de consumo eléctrico, se puede evaluar la probabilidad de anomalías en la curva de carga y, con base en ello, realizar la detección y el análisis de consumos de energía anormales (Esmaeili et al., 2023).

En el contexto ecuatoriano, el crecimiento progresivo de la demanda energética residencial y el incremento en el uso de electrodomésticos han generado la necesidad de implementar sistemas de monitoreo que permitan optimizar el consumo eléctrico y prevenir riesgos en las instalaciones domésticas. En este sentido, resulta fundamental diseñar un sistema de detección y monitoreo capaz de identificar en tiempo real sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra, contribuyendo a la seguridad eléctrica y a la reducción de pérdidas energéticas. El desarrollo de esta propuesta se fundamenta en criterios técnicos establecidos por normativas internacionales como la International Electrotechnical Commission, las cuales regulan los sistemas de protección en instalaciones eléctricas de baja tensión. En tal virtud se toma en cuenta un diagrama básico de una residencia ecuatoriana (ver Figura 1).

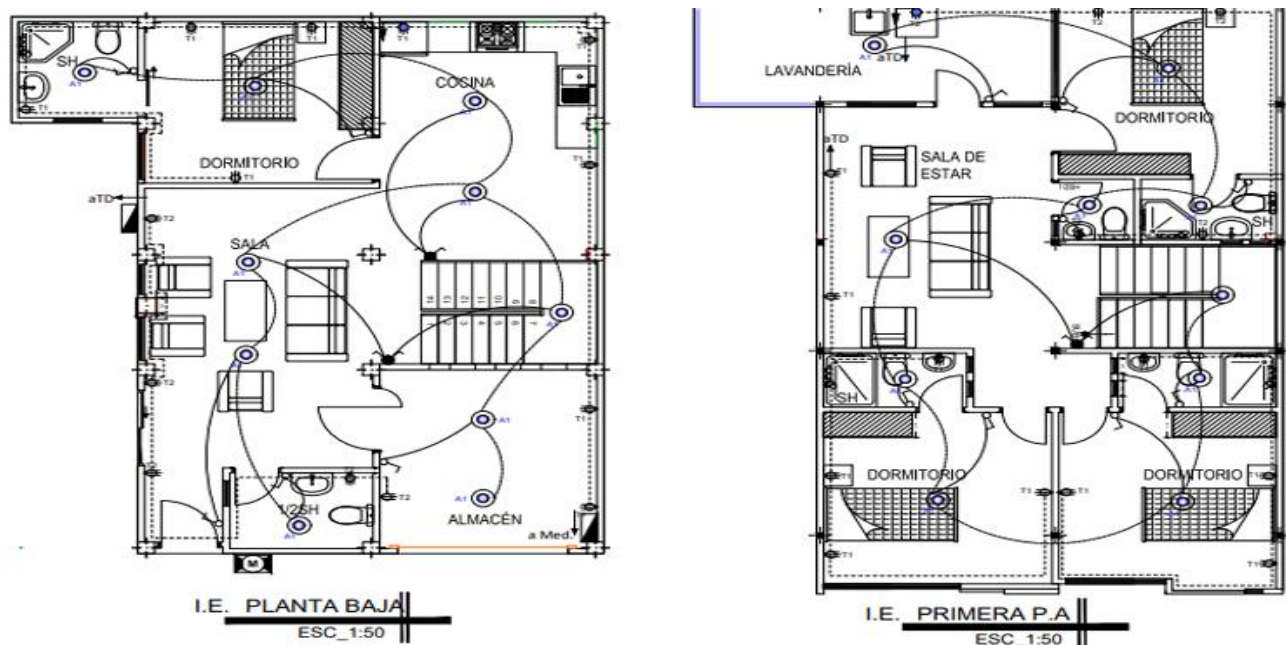


Figura 1 Puntos eléctricos domiciliarios

Fuente: Calva (2022)

## Problemática

Con el avance de la tecnología y la mejora del nivel de vida, la dependencia humana de la energía se ha intensificado. Las estadísticas muestran que las operaciones diarias de los domicilios se han convertido en una parte importante del consumo energético global, representando aproximadamente el 30 % del consumo energético anual total mundial y generando hasta un 26 % de las emisiones de carbono. A medida que aumenta la demanda de comodidad de las personas, esta proporción continúa en aumento. Además, estudios han demostrado que entre un 20 % y un 30 % de las pérdidas de energía se producen durante el funcionamiento de los domicilios, principalmente debido al rendimiento ineficiente de los sistemas eléctricos (Esmaeili et al., 2023).

Estos problemas suelen ser difíciles de detectar a tiempo, lo que hace que los diagnósticos del consumo energético de los equipos domésticos sean especialmente cruciales para mejorar la eficiencia del uso de la energía y reducir el desperdicio, lo que a su vez exige tecnologías de detección de anomalías de alta precisión. Con el crecimiento explosivo de los datos de monitorización del consumo energético y el continuo avance de la tecnología, los métodos de diagnóstico de anomalías en el consumo energético permiten identificar sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra.

El consumo energético previsto y el umbral establecido forman conjuntamente la línea base de consumo energético, lo que hace que la configuración del umbral sea crucial para la detección de anomalías. En consecuencia, se evidencia la necesidad de desarrollar un sistema tecnológico que permita la detección y el monitoreo en tiempo real de anomalías en la red eléctrica residencial, con el fin de prevenir sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra. La ausencia de mecanismos accesibles y de bajo costo que supervisen continuamente el comportamiento eléctrico en viviendas representa una limitación que puede derivar en pérdidas económicas, daños a los equipos y riesgos para la seguridad de los usuarios.

## Justificación

Comprender el comportamiento energético presente y futuro de un establecimiento residencial puede prevenir problemas relacionados con el suministro de energía o la asignación innecesaria de energía a medio y largo plazo. Un perfil de consumo eléctrico,

también conocido como perfil de carga diaria (DLP), representa los patrones diarios de demanda energética de los consumidores. El análisis de estos patrones permite implementar estrategias para mejorar la eficiencia. Las pérdidas no técnicas son un problema constante, con la aplicación y popularización de las redes inteligentes y los sistemas de medición avanzados, es posible utilizar métodos basados en datos para detectar consumos eléctricos anómalos y reducir dichas pérdidas (Shahid et al., 2025).

Con la evolución de técnicas como el robo de electricidad, sumada al aumento exponencial de los datos de consumo eléctrico, surgen constantemente nuevos desafíos para la detección de consumos eléctricos anómalos. En el ámbito residencial, la ausencia de sistemas accesibles de monitoreo en tiempo real limita la identificación oportuna de anomalías como sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra, las cuales pueden provocar daños en los equipos eléctricos, incremento en la facturación del servicio e incluso riesgos para la seguridad de los usuarios (Mo et al., 2019).

Por ello, se vuelve necesario el diseño de un sistema tecnológico que permita supervisar el comportamiento eléctrico de una vivienda y establecer umbrales de alerta que faciliten la detección temprana de irregularidades (Vela, 2020) . Desde el punto de vista técnico y económico, el desarrollo de un sistema de detección y monitoreo de bajo costo aporta una solución práctica para fortalecer la seguridad eléctrica residencial y optimizar el uso de la energía. De esta manera, el presente proyecto contribuye a la prevención de fallas, a la reducción de pérdidas energéticas y a la mejora de la eficiencia en el consumo eléctrico doméstico.

## Objetivos

### *General*

Diseñar un sistema de detección y monitoreo de anomalías en la red eléctrica que identifique sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra.

### *Específicos*

- Analizar los fundamentos teóricos y parámetros eléctricos asociados a sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra en redes eléctricas residenciales.

- Diseñar el esquema eléctrico y el diagrama de funcionamiento del sistema de detección y monitoreo de anomalías.
- Simular el funcionamiento del sistema propuesto en el software Proteus, verificando la detección de las anomalías mediante pruebas controladas.

### *Alcance*

El presente proyecto tiene como alcance el diseño y la simulación de un sistema de detección y monitoreo de anomalías en una red eléctrica residencial, orientado a identificar sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra. El desarrollo comprende el análisis teórico de los parámetros eléctricos involucrados, la definición de umbrales de operación, el diseño del esquema eléctrico y la simulación del sistema mediante el software Proteus, con el fin de evaluar su funcionamiento bajo condiciones controladas. Contempla la implementación física del prototipo.

### *Marco teórico*

Como referente teórico de la investigación se toman en cuenta las siguientes variables de estudio (ver Tabla 1)

Tabla 1 operacionalización de variables

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Subdimensión</b>
Sistema de detección y monitoreo	Conjunto de componentes diseñados para supervisar y analizar el comportamiento eléctrico en una red residencial.	Diseño del sistema	Diagrama eléctrico
		Simulación	Configuración de umbrales
			Pruebas en Proteus

Detección de anomalías eléctricas	Identificación de comportamientos anormales en la red eléctrica residencial.	Tipo de anomalía	Sobreconsumo
			Cortocircuito
			Falla a tierra

### Fundamentos de Sistemas Eléctricos

Los sistemas de energía eléctrica desempeñan un papel fundamental en nuestra sociedad moderna, proporcionando la energía necesaria para abastecer nuestros hogares, industrias e instituciones. Estas intrincadas redes de generadores, transformadores, líneas de transmisión y sistemas de distribución forman la columna vertebral de nuestra infraestructura eléctrica, asegurando un suministro continuo y confiable de electricidad. Comprender los fundamentos de los sistemas de energía eléctrica es esencial para ingenieros, legisladores y cualquier persona interesada en el funcionamiento del mundo moderno (Sandeep, 2024).

Los sistemas de energía eléctrica han evolucionado significativamente desde los tiempos de Thomas Edison y Nikola Tesla. A finales del siglo XIX y principios del XX se produjo un rápido desarrollo de las tecnologías eléctricas, lo que llevó al establecimiento de las primeras centrales eléctricas y redes de distribución. La famosa batalla entre las tecnologías de corriente alterna (CA) y corriente continua (CC), a menudo denominada la Guerra de las Corrientes, finalmente resultó en la adopción generalizada de los sistemas de energía de CA.

**Componentes de los sistemas de energía eléctrica:** Los sistemas de energía eléctrica constan de varios componentes interconectados, cada uno con una función específica en la generación, transmisión y distribución de electricidad. Estos componentes incluyen centrales eléctricas, generadores, transformadores, líneas de transmisión, subestaciones y sistemas de distribución. Las centrales eléctricas convierten diversas fuentes de energía, como carbón, gas natural, energía nuclear o recursos renovables, en energía eléctrica. Los

generadores luego convierten la energía mecánica en energía eléctrica, que luego se transmite a través de una red de líneas de transmisión (Yan et al., 2025).

**Generación de energía:** La generación de energía es el proceso de convertir energía de diversas fuentes en energía eléctrica. Las centrales eléctricas convencionales, como las de carbón, gas natural y nucleares, dependen del calor generado para producir vapor, que impulsa turbinas conectadas a generadores. Las fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica, la hidroeléctrica y la geotérmica, aprovechan procesos naturales para generar electricidad. El creciente énfasis en las fuentes de energía sostenibles y respetuosas con el medio ambiente ha llevado a avances significativos en las tecnologías de generación de energía renovable (Yan et al., 2025).

**Transmisión y distribución:** Una vez que se genera la electricidad, necesita ser transportada desde las centrales eléctricas hasta los usuarios finales de manera eficiente. Las líneas de transmisión, que a menudo operan a altos voltajes, son responsables del transporte a larga distancia. Las subestaciones juegan un papel crucial en la transformación de los niveles de voltaje para una transmisión y distribución eficientes. Los sistemas de distribución luego entregan electricidad a hogares, empresas e industrias. Las tecnologías de redes inteligentes, que incorporan sistemas avanzados de comunicación y control, están mejorando la eficiencia y la confiabilidad de la distribución de energía (Yan et al., 2025).

**Estabilidad y fiabilidad de la red:** La estabilidad y fiabilidad de la red son primordiales para mantener un suministro eléctrico continuo y seguro. El sistema eléctrico debe equilibrar la generación y la demanda en tiempo real para evitar fluctuaciones de voltaje y apagones. La integración de sistemas de control avanzados, tecnologías de monitorización de la red y análisis predictivos ha mejorado significativamente la estabilidad y fiabilidad generales de los sistemas eléctricos. Estas medidas son cruciales para adaptarse a la creciente complejidad de la red, incluida la integración de fuentes de energía renovables intermitentes (Yan et al., 2025).

## **Medición de Variables Eléctricas**

La base de la electricidad reside en la estructura de los átomos, los componentes básicos de la materia. Los átomos constan de un núcleo compuesto por protones con carga positiva y neutrones neutros, rodeado de electrones con carga negativa que orbitan en niveles o capas de energía. Los electrones son los portadores de carga en los sistemas eléctricos. Cuando se extraen o se añaden electrones a los átomos, se produce un desequilibrio de carga, creando partículas cargadas conocidas como iones. El movimiento de estas partículas cargadas, en particular de los electrones, es lo que constituye una corriente eléctrica (Mo et al., 2019).

Los materiales con electrones débilmente ligados, como los metales, son buenos conductores de la electricidad, mientras que los materiales con electrones fuertemente ligados, como el caucho o el plástico, son aislantes. Voltaje, Corriente y Resistencia Tres propiedades eléctricas fundamentales rigen el comportamiento de los circuitos eléctricos: voltaje (V), corriente (I) y resistencia (R). Estas propiedades están interrelacionadas a través de la Ley de Ohm, nombrada en honor al físico alemán Georg Simon Ohm (Mo et al., 2019).

**Voltaje (V):** El voltaje es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos en un circuito. Se mide en voltios y representa la fuerza que impulsa la carga eléctrica. El voltaje se puede comparar con la presión en una tubería de agua, cuanto mayor sea el voltaje, mayor será el potencial para que fluyan los electrones (Mo et al., 2019).

**Corriente (I):** La corriente es el flujo de carga eléctrica en un circuito. Se mide en amperios (A). La corriente se puede visualizar como la tasa de flujo de electrones en un conductor. El flujo de corriente siempre va de una región de mayor voltaje a una de menor voltaje (Mo et al., 2019).

**Resistencia (R):** La resistencia es la oposición que un material ofrece al flujo de corriente eléctrica. Se mide en ohmios ( $\Omega$ ). Los conductores tienen baja resistencia, lo que permite que la corriente fluya fácilmente, mientras que los aislantes tienen alta resistencia, lo que impide el flujo de corriente. La relación entre voltaje, corriente y resistencia se describe mediante la Ley de Ohm (Mo et al., 2019).

$$V = I * R$$

**Potencia y energía:** La potencia es la tasa a la que se transfiere o convierte la energía. En un sistema eléctrico, la potencia (P) se calcula mediante la fórmula  $P = VI$ , donde V es el voltaje e I es la corriente. La potencia se mide en vatios (W) (Mo et al., 2019).

### **Anomalías en Redes Eléctricas**

La confiabilidad en los sistemas eléctricos es uno de los pilares fundamentales de la civilización moderna, siendo esencial para todos los sectores de actividad, incluidos el residencial, el comercial y el industrial. La electricidad proporciona una fuente continua desde residencias y hospitales hasta plantas de fabricación y centros de datos que mantienen el pulso de la vida humana en marcha sin tiempos de inactividad operativa, asegurando así la estabilidad económica e incluso previniendo riesgos de seguridad (Al-Karkhi et al., 2025).

A medida que la demanda de sistemas eléctricos está aumentando, haciéndolos más complejos para satisfacer esa demanda, asegurar la estabilidad y la eficiencia se convierte en un gran desafío. Intrínsecamente, estos sistemas son propensos a una variedad de perturbaciones y anomalías. Los problemas generales de distorsiones en las líneas de suministro, fallas mecánicas, fluctuaciones de voltaje y variaciones de frecuencia pueden surgir debido a una variedad de causas tales como infraestructura envejecida, equipo defectuoso, factores ambientales como tormentas o rayos, e incluso actividades maliciosas (Anwar & Mahmood, 2016).

**La sobrecarga:** o sobreconsumo en una red eléctrica se produce cuando la demanda de corriente supera la capacidad nominal de los conductores o equipos conectados. Esta condición suele originarse por el uso excesivo de dispositivos eléctricos, conexiones inadecuadas o fallas en los equipos que incrementan el consumo de energía de manera anormal. Como consecuencia, se genera un aumento de temperatura en los conductores y componentes del sistema, lo que puede provocar deterioro del aislamiento, reducción de la vida útil de los equipos e incluso incendios si no se detecta y controla oportunamente (Anwar & Mahmood, 2016).

**El cortocircuito:** es una falla eléctrica que ocurre cuando dos conductores con diferente potencial eléctrico entran en contacto directo, generando un camino de muy baja resistencia para la corriente. Este fenómeno puede clasificarse principalmente en cortocircuito fase-fase, cuando dos líneas activas se conectan entre sí, y fase-tierra, cuando un conductor activo entra en contacto con el sistema de puesta a tierra. Como resultado, se producen corrientes extremadamente altas en un corto período de tiempo, lo que puede causar daños severos en los equipos, disparo de protecciones eléctricas y riesgos significativos para la seguridad de las instalaciones (Anwar & Mahmood, 2016).

**Las fallas a tierra** se presentan cuando una corriente eléctrica se desvía de su trayectoria normal y fluye hacia el suelo, generalmente a través de partes metálicas expuestas o sistemas de puesta a tierra. Este tipo de anomalía está asociado a fugas de corriente ocasionadas por aislamiento defectuoso o deteriorado en los conductores. Los sistemas de puesta a tierra tienen como finalidad conducir estas corrientes de manera segura hacia el suelo, protegiendo tanto a las personas como a los equipos. Sin embargo, cuando estas fallas no son detectadas, pueden representar un alto riesgo eléctrico, incluyendo descargas eléctricas, daños en dispositivos y posibles incendios (Anwar & Mahmood, 2016).

### **Detección de Anomalías**

Con la expansión y complejidad de la red, el diagnóstico de fallas del sistema se ha vuelto cada vez más importante. Debido a la complejidad de la red y la gran cantidad de datos, es difícil manejar las técnicas comunes de identificación de anomalías. Para garantizar la regularidad, seguridad y confiabilidad del monitoreo de carga de la red eléctrica, es necesario realizar una supervisión eficiente. Los métodos clásicos de análisis de datos son la estadística, las reglas, el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo (Alabe et al., 2022).

A medida que la detección de anomalías en los sistemas de dirección asistida eléctrica se ha centralizado mediante enfoques basados en modelos y conocimiento, estos sistemas se han vuelto más complejos y sofisticados, lo que exige una mayor fiabilidad y seguridad. Dado que la mayoría de los métodos de detección actuales se basan en el conocimiento previo, resulta difícil identificar anomalías nuevas o previamente desconocidas (Shahid

et al., 2025).

En el contexto de los sistemas eléctricos, la detección de anomalías se basa en la identificación de comportamientos inusuales en variables como el voltaje, la corriente y la potencia, comparándolos con patrones de operación normal previamente establecidos. Estas anomalías pueden manifestarse como picos abruptos, caídas de tensión, variaciones en el consumo o fluctuaciones irregulares en la señal eléctrica (Alabe et al., 2022).

Para ello, se emplean técnicas como la definición de umbrales, el análisis de tendencias y el monitoreo en tiempo real, lo que permite detectar eventos como sobrecargas, cortocircuitos o fallas a tierra de manera oportuna. En sistemas modernos, estos procesos se integran con dispositivos electrónicos y plataformas de monitoreo, facilitando la generación de alertas automáticas y la toma de decisiones para prevenir daños en la red eléctrica. (Alabe et al., 2022).

### **Microcontroladores y Sistemas Embebidos**

Los objetos inteligentes se definen por diversas características, como sus capacidades de comunicación, su interacción con el mundo físico, su tamaño relativamente pequeño y su bajo coste. Cada objeto inteligente consta de un microprocesador, un dispositivo de comunicación, un sensor o actuador y una fuente de alimentación. El microprocesador proporciona al objeto inteligente la potencia computacional necesaria para su funcionamiento. El dispositivo de comunicación le permite comunicarse con otros objetos inteligentes y con otros sistemas (Benítez, 2024).

Los sensores o actuadores conectan el objeto inteligente con el mundo físico, permitiéndole medir o influir en los fenómenos físicos. Se requiere una fuente de alimentación para el funcionamiento de los componentes electrónicos de los objetos inteligentes, que puede ser baterías o energía renovable, como células solares o dispositivos piezoeléctricos que generan energía a partir de vibraciones o movimiento. En ambos casos, la fuente de alimentación tiene una capacidad de generación de energía muy limitada. Su tamaño físico es un factor importante, ya que los objetos inteligentes suelen integrarse en otros elementos

o desplegarse en lugares donde un tamaño físico grande resultaría molesto (Vasseur & Dunkels, 2010).

**ESP32:** se emplea para aplicaciones que requieren comunicación inalámbrica o conectividad en la nube, el ESP32 es un microcontrolador versátil con capacidades Wi-Fi y Bluetooth integradas. El ESP32 cuenta con un convertidor analógico-digital (ADC) de 12 bits y su alta potencia de procesamiento (con un procesador de doble núcleo de 240 MHz) lo hace adecuado para la medición y monitorización de voltaje en tiempo real. Si bien el ESP32 se utiliza normalmente para aplicaciones de IoT, su resolución de ADC y su potencia de procesamiento le permiten realizar tareas de medición de voltaje de precisión. Además, la disponibilidad de Wi-Fi o Bluetooth lo convierte en una excelente opción para sistemas de monitorización remota (Benítez, 2024).

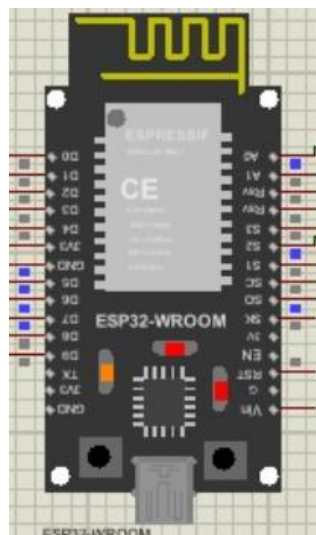


Figura 2 Microcontrolador

**Módulo de medición PZEM-004T:** es un dispositivo electrónico ampliamente utilizado en sistemas de monitoreo energético basado en microcontroladores, debido a su capacidad para medir en tiempo real múltiples parámetros eléctricos de manera precisa y segura. Este sensor permite obtener valores de voltaje, corriente, potencia, energía consumida, frecuencia y factor de potencia, lo que lo convierte en una herramienta integral para el análisis del comportamiento eléctrico de una carga. Opera en un rango de voltaje de 80 a 260 V en corriente alterna y puede medir corrientes de hasta 100 A mediante el uso de un

transformador de corriente tipo pinza (CT), el cual facilita la medición sin necesidad de intervenir directamente el conductor, incrementando la seguridad del sistema. Además, se comunica con microcontroladores como el ESP32 a través de una interfaz serial TTL (UART), utilizando pines de transmisión y recepción, lo que permite la adquisición y procesamiento de datos con una precisión aproximada de  $\pm 1\%$ , siendo ideal para aplicaciones de detección de anomalías en redes eléctricas (Syawali & Meliala, 2023).



Figura 3 Sensor

**La pantalla LCD (Liquid Crystal Display):** es un dispositivo de visualización ampliamente utilizado en sistemas electrónicos y proyectos con microcontroladores debido a su bajo consumo energético y facilidad de integración. Su funcionamiento se basa en el uso de cristales líquidos que, al ser excitados eléctricamente, modulan el paso de la luz proveniente de una fuente de retroiluminación, generalmente de tipo LED, permitiendo la formación de caracteres e imágenes visibles. Estos dispositivos incorporan filtros de color y matrices de control que organizan la información mostrada, ofreciendo una buena calidad de imagen, adecuada resolución y un diseño delgado y ligero (Jung et al., 2024).



Figura 4 Pantalla

**Proteus:** es un software de diseño y simulación electrónica ampliamente utilizado para el desarrollo y validación de circuitos antes de su implementación física. Esta herramienta permite crear esquemas eléctricos, simular el comportamiento de componentes y microcontroladores, y analizar el funcionamiento del sistema en tiempo real. Además, integra módulos para el diseño de placas de circuito impreso (PCB), facilitando el paso del prototipo virtual a la construcción real. Su uso resulta fundamental en proyectos electrónicos, ya que reduce errores, optimiza el diseño y permite comprobar el correcto funcionamiento de sistemas como los de monitoreo eléctrico (Lu & Duan, 2024).

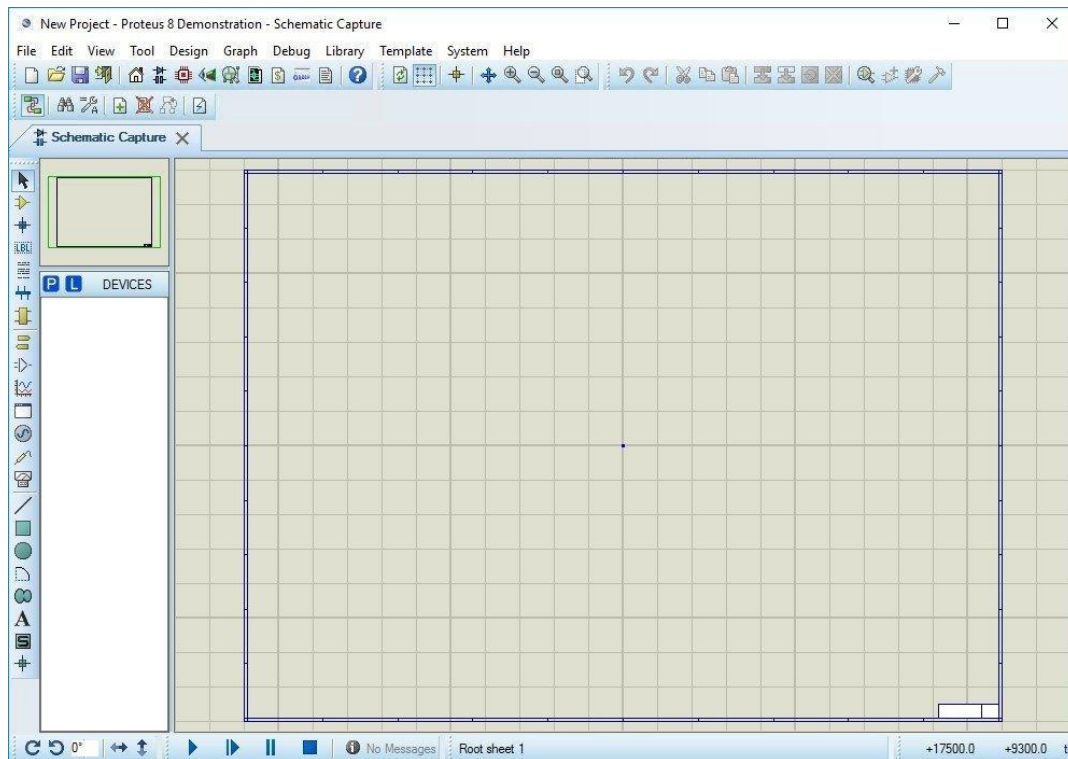


Figura 5 Software simulación

**Arduino IDE:** Este es uno de los entornos de desarrollo más populares y fáciles de usar para sistemas embebidos. Es compatible con una amplia gama de microcontroladores, incluyendo el ATmega328P y otros microcontroladores compatibles con Arduino. El Arduino IDE proporciona un entorno de programación simplificado, lo que permite un desarrollo rápido con una gran cantidad de bibliotecas y ejemplos para la medición de voltaje y la interfaz con sensores (Arduino, 2020).

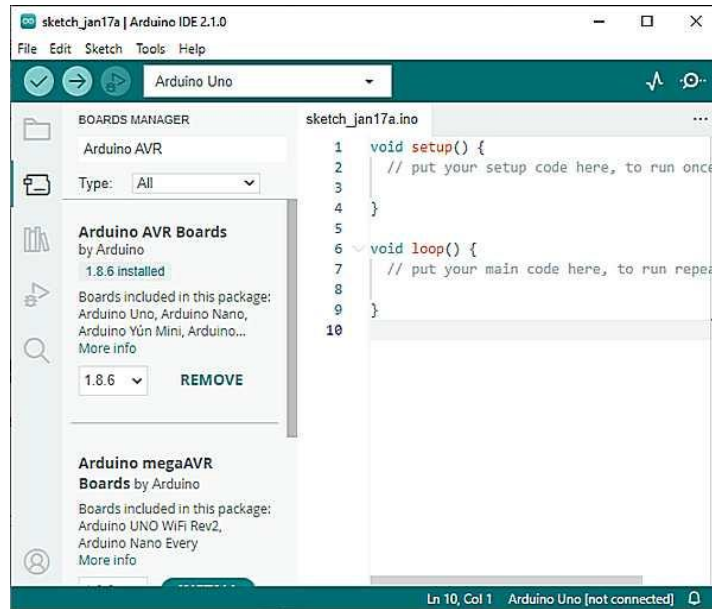


Figura 6 Software programación

## Materiales y métodos

### Materiales

Para el desarrollo del proyecto se emplearán los siguientes materiales (ver Tabla 2)

Tabla 2 Descripción de insumos

<b>Tipo</b>	<b>Material Herramienta</b> /	<b>Descripción</b>
Software	Proteus	Programa utilizado para el diseño y simulación del sistema eléctrico.
Software	Arduino IDE	Entorno para la programación del microcontrolador simulado.

Hardware simulado	Microcontrolador	Controla la lectura de datos y la detección de anomalías.
Hardware simulado	Sensor de corriente	Permite medir la variación de corriente en la red.
Hardware simulado	Relé	Simula el corte del suministro ante una anomalía.
Equipo	Computador	Herramienta utilizada para el desarrollo y la simulación del proyecto.

### Procedimiento

El desarrollo del proyecto inició con la revisión bibliográfica relacionada con las anomalías eléctricas en redes residenciales, identificando los parámetros asociados a sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra. Posteriormente, se definieron los umbrales de operación y se diseñó el esquema eléctrico del sistema de detección y monitoreo. Una vez establecido el diseño, se procedió a la implementación del circuito en el software Proteus, integrando los componentes necesarios para la simulación. Finalmente, se realizaron pruebas controladas modificando los valores de corriente para verificar el funcionamiento del sistema y evaluar su capacidad de detección ante diferentes condiciones anómalas.

### *Diseño del sistema en Proteus*

El sistema de detección y monitoreo de anomalías eléctricas se basa en el uso de un microcontrolador encargado de adquirir y procesar las variables eléctricas simuladas, tales como sobreconsumo, cortocircuito y fallas a tierra. A través del módulo de medición, se obtienen los valores de voltaje, corriente y potencia, los cuales son visualizados en tiempo real en una pantalla LCD para facilitar la supervisión del sistema. En condiciones normales de operación, la carga o motor permanece encendido, garantizando el funcionamiento continuo del sistema. Sin embargo, cuando los valores medidos superan los umbrales

establecidos, indicando la presencia de una anomalía, el sistema actúa de manera automática desconectando la carga mediante un relé y mostrando el tipo de error detectado en la pantalla. Este proceso permite proteger los equipos y mejorar la seguridad del sistema eléctrico.

La figura 7 ilustra el diseño del sistema de detección de anomalías eléctricas propuesto, el cual integra diferentes componentes electrónicos para el monitoreo y control de variables eléctricas en tiempo real. En este sistema, un microcontrolador se encarga de procesar la información obtenida de los sensores, permitiendo identificar condiciones anómalas como sobreconsumo, cortocircuitos y fallas a tierra. Asimismo, se incluyen elementos de visualización y actuación, como la pantalla LCD y el relé, que permiten informar al usuario sobre el estado del sistema y ejecutar acciones de protección ante posibles fallas.

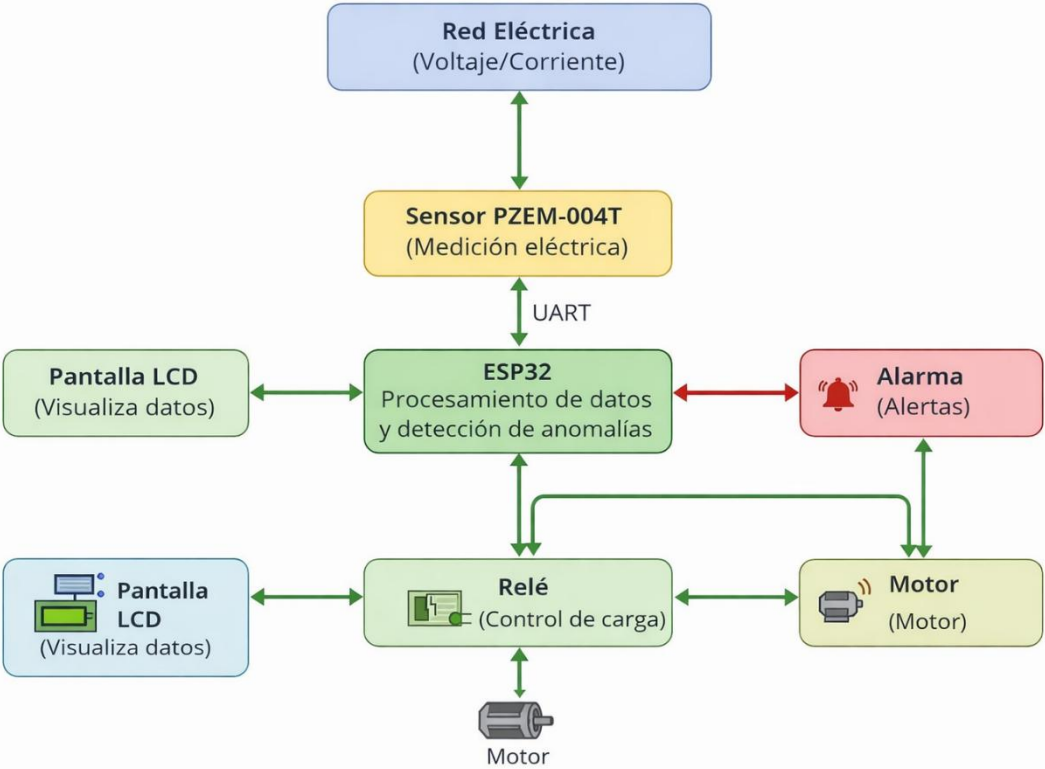


Figura 7 Diagrama de funcionamiento

En función de lo anteriormente expuesto, se presenta el diseño de la simulación desarrollada en el software Proteus, donde se representa el sistema de detección de

anomalías eléctricas propuesto. En este caso, la carga del sistema está modelada mediante una lámpara de 120 V, la cual simula el funcionamiento de un equipo eléctrico real. Adicionalmente, las condiciones de sobreconsumo de voltaje y corriente son generadas mediante el uso de potenciómetros, permitiendo variar los valores de forma controlada durante la simulación. Por otra parte, las fallas a tierra y los cortocircuitos se simulan a través de pulsadores, los cuales activan eventos de fallo específicos dentro del circuito. Este diseño permite evaluar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios y validar su capacidad de detección y respuesta frente a anomalías eléctricas.

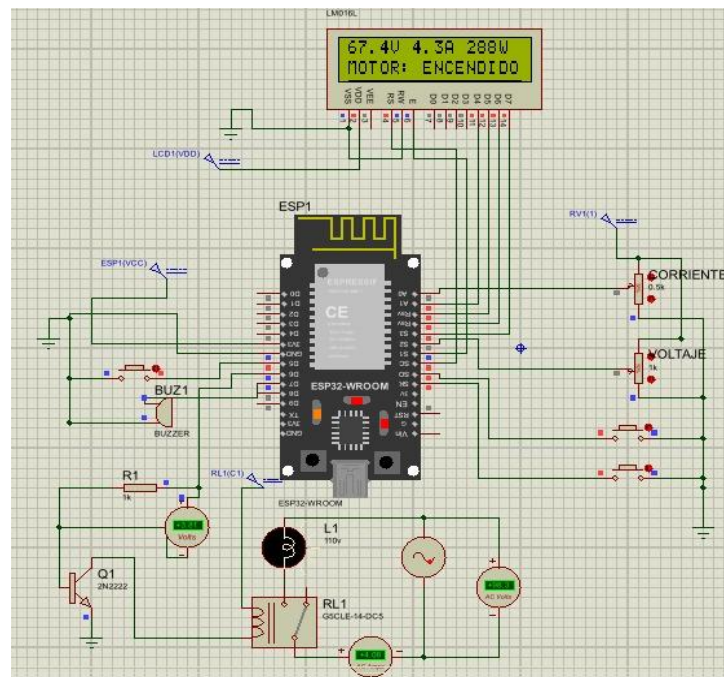


Figura 8 Simulación del sistema completo

Para la simulación del sobreconsumo de corriente y voltaje se emplean dos potenciómetros conectados a los pines de entrada del sistema, los cuales permiten variar los valores de manera controlada. Se considera un rango máximo de operación de 5 A y 125 V. Cuando los valores medidos superan el umbral previamente establecido, el microcontrolador ESP32 actúa como sistema de protección, interrumpiendo el suministro de energía hacia la carga. De forma simultánea, en la pantalla LCD se visualizan los valores de voltaje (V) y corriente (I), junto con un mensaje de alerta que indica la presencia de sobrecorriente y/o sobrevoltaje. Este mecanismo permite simular condiciones anómalas y verificar la

respuesta del sistema ante eventos de sobrecarga.

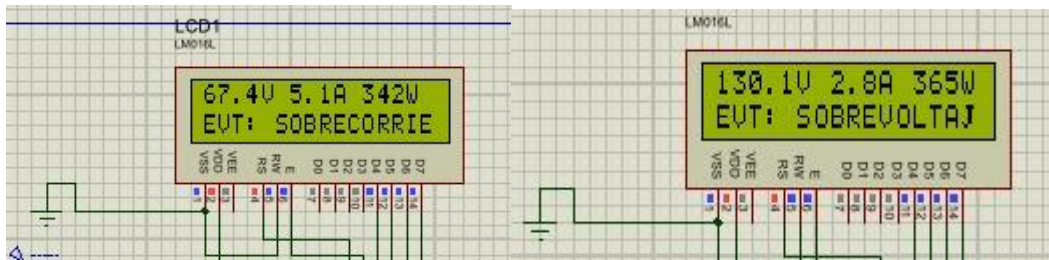


Figura 9 Anomalía de sobreconsumo

Por su parte, la anomalía de cortocircuito se simula mediante el uso de un pulsador que representa la ocurrencia de este evento dentro del sistema. Cuando se activa dicha condición, el microcontrolador ESP32 procede a interrumpir el suministro de energía hacia la carga como medida de protección, evitando posibles daños en los componentes. De manera simultánea, el sistema muestra en la pantalla LCD un mensaje indicando la detección del cortocircuito y, adicionalmente, se activa un buzzer como señal de alarma audible. Este mecanismo permite validar la capacidad de respuesta del sistema ante fallas críticas y garantizar una actuación inmediata frente a este tipo de anomalías eléctricas.



Figura 10 Anomalía de cortocircuito

La anomalía de falla a tierra se simula mediante el uso de un pulsador que representa la ocurrencia de este tipo de evento en el sistema. Cuando se activa dicha condición, el microcontrolador ESP32 procede a interrumpir el suministro de energía hacia la carga como medida de protección, con el fin de evitar riesgos eléctricos y posibles daños en los equipos. De manera simultánea, el sistema muestra en la pantalla LCD un mensaje indicando la detección de la falla a tierra y, adicionalmente, se activa un buzzer como señal de alarma audible. Este proceso permite verificar la eficacia del sistema en la identificación

y respuesta ante fugas de corriente hacia tierra, garantizando así una mayor seguridad en la operación eléctrica.



Figura 11 Anomalia de falla a tierra

En cada uno de los eventos definidos como anomalías o fallas del sistema eléctrico, el suministro de energía hacia la carga es interrumpido como medida de protección. Una vez que ocurre cualquiera de estas condiciones, el sistema permanece desactivado hasta que se realiza un reinicio manual, restableciendo así su funcionamiento. Este comportamiento es análogo al de una instalación eléctrica real, donde ante la presencia de fallas como sobrecargas, cortocircuitos o fugas a tierra, los dispositivos de protección, como los interruptores automáticos (breakers), desconectan el suministro eléctrico de todo el domicilio. Posteriormente, es necesario reactivar manualmente el sistema para restablecer el servicio, garantizando así la seguridad de las personas y de los equipos eléctricos.

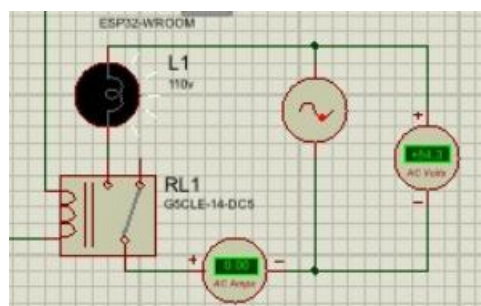


Figura 12 Corte de energía a la carga

### *Programación en Arduino IDE*

La programación del sistema fue desarrollada en el entorno Arduino IDE, empleando un lenguaje basado en C/C++, el cual permite la configuración y control del microcontrolador ESP32. En este apartado se presenta una descripción general de la lógica implementada, enfocada en la adquisición de datos provenientes de los sensores, el procesamiento de las

variables eléctricas y la detección de anomalías. Asimismo, se destacan las rutinas principales encargadas de la visualización de la información en la pantalla LCD y la activación de los mecanismos de protección ante condiciones anormales, permitiendo comprender el funcionamiento integral del sistema sin detallar la totalidad del código fuente.

## Resultados en simulación

### Funcionamiento en condiciones normales

Durante la operación normal del sistema, se registraron valores dentro de los rangos establecidos, considerando un voltaje nominal de 120 V y una corriente promedio de 1.2 A. En estas condiciones, la potencia consumida por la carga (lámpara) fue aproximadamente de 144 W, calculada mediante la relación  $P=V \cdot I = V \cdot I$ . El sistema permitió el funcionamiento continuo de la carga, manteniendo el relé activado, mientras que en la pantalla LCD se visualizaron correctamente los valores de voltaje, corriente y potencia en tiempo real. No se activaron alarmas ni se detectaron anomalías, evidenciando un comportamiento estable del sistema. En este sentido, se toma en cuenta el siguiente esquema de funcionamiento.

Evento	Detectado	Acción del sistema	Resultado
Normal	Sí	No acción + visualización LCD	Operación estable
Sobrecarga	Sí	Apaga carga + visualización LCD	Correcto
Cortocircuito	Sí	Apaga + alarma + visualización LCD	Correcto

Falla a tierra	Sí	Apaga + alarma + visualización LCD	Correcto
----------------	----	------------------------------------	----------

Tabla 3 Resultados esperados

### Resultados ante sobreconsumo

Para simular condiciones de sobreconsumo, se incrementaron los valores de corriente y voltaje mediante potenciómetros, alcanzando valores aproximados de 125 V y 5.5 A, superando los umbrales establecidos (125 V y 5 A). En este escenario, la potencia alcanzó un valor cercano a 687.5 W. Al detectar esta condición anómala, el sistema respondió de manera inmediata, desactivando el relé y cortando el suministro de energía a la carga. Simultáneamente, en la pantalla LCD se mostró un mensaje de alerta indicando “Sobrecorriente” y “Sobrevoltaje”, lo que confirma la correcta detección y actuación del sistema ante condiciones de sobrecarga.

### Resultados ante cortocircuito

La simulación del cortocircuito se realizó mediante la activación de un pulsador, lo que generó una condición de falla abrupta en el sistema. Como resultado, se observó un incremento repentino de la corriente, alcanzando valores simulados superiores a 8 A, lo que representa una condición crítica. Ante esta situación, el sistema actuó de forma inmediata, desenergizando la carga mediante el relé. Adicionalmente, se activó el buzzer como alarma audible y se mostró en la pantalla LCD el mensaje correspondiente a “Cortocircuito”. Estos resultados evidencian una respuesta rápida y efectiva del sistema frente a este tipo de fallas.

### Resultados ante falla a tierra

La falla a tierra fue simulada mediante un pulsador que representa una fuga de corriente hacia tierra. En este caso, se observó una variación anormal en la corriente, con valores aproximados de 3.5 A, acompañados de inestabilidad en la señal. El sistema detectó esta condición como una anomalía, procediendo a cortar el suministro de energía a la carga mediante el relé. De igual manera, se activó el buzzer y se mostró en la pantalla LCD un

mensaje indicando “Falla a tierra”. Esto demuestra la capacidad del sistema para identificar fugas de corriente y actuar de manera preventiva.

### **Análisis general de resultados**

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema de detección de anomalías eléctricas funciona de manera eficiente bajo las diferentes condiciones evaluadas. En todos los casos de falla, el sistema fue capaz de identificar correctamente la anomalía y ejecutar acciones de protección de forma inmediata, tales como la desconexión de la carga y la activación de alertas visuales y sonoras. Asimismo, en condiciones normales, el sistema mantuvo un comportamiento estable, permitiendo el monitoreo continuo de las variables eléctricas sin interrupciones. Estos resultados validan la funcionalidad y confiabilidad del sistema propuesto para aplicaciones de monitoreo y protección eléctrica.

<b>Condición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Acción del sistema</b>
Normal	110	1.2	132	Funcionamiento normal
Sobrecarga	125	5.5	687.5	Corte + alerta
Cortocircuito	110	>8	Alto	Corte + buzzer
Falla a tierra	110	3.5	385	Corte + alarma

**Tabla 4** Resultados obtenidos

## Resultados en implementación

En la implementación práctica se consideran varios escenarios con cargas reales de un domicilio, ante ello se muestran los cálculos correspondientes a la implementación física en diferentes escenarios.

### Cargador de celular

#### Datos:

- **Voltaje:** 120.6 V
- **Corriente:** 0.03 A



Figura 13 Cargador de celular — operación normal

*Nota.* Se encuentra dentro de los parámetros normales y refleja la leyenda de normal

### Ventilador

#### Datos:

- **Voltaje:** 121.0 V
- **Corriente:** 0.28 A

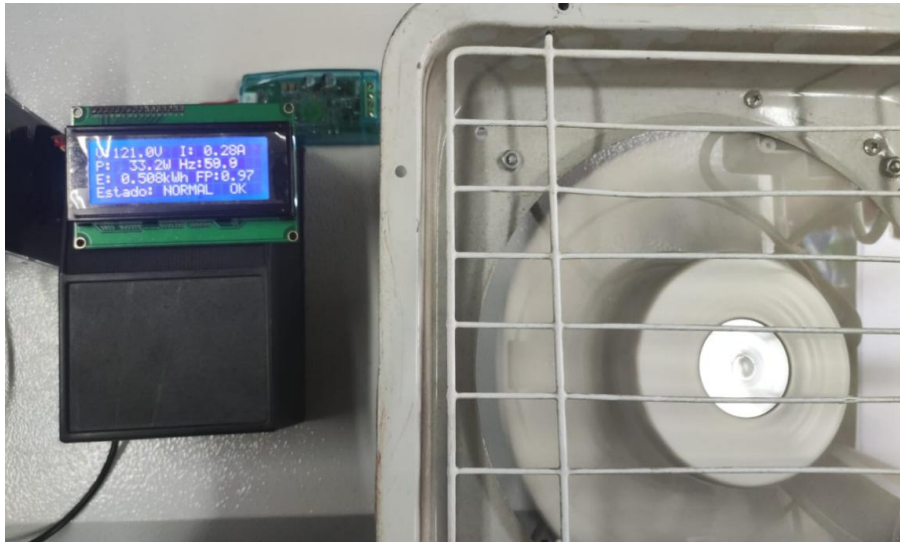


Figura 14 Ventilador — operación normal

*Nota.* Se encuentra dentro de los parámetros normales y refleja la leyenda de normal

### Sub tensión

#### Datos:

- **Voltaje:** 0.0 V
- **Corriente:** 0.0 A



Figura 15 Detección de sub tensión severa (0.0 V)

*Nota.* Tanto el voltaje como la corriente son mucho menores que los límites establecidos. Se muestra leyenda de subtensión severa.

### Sobre tensión

#### Datos:

- **Voltaje:** 216.4 V
- **Corriente:** 0.0 A



Figura 16 Detección de sobre tensión (216.4 V)

*Nota.* Se ingresa un voltaje superior al umbral establecido por ello se muestra el mensaje de sobretensión.

### Sobre corriente

#### Datos:

- **Voltaje:** 116.8 V
- **Corriente:** 8.29 A



Figura 17 Detección de sobre corriente — resistencia de 1000 W (8.29 A)

*Nota.* Se ingresa una corriente superior al umbral establecido por ello se muestra el mensaje de cortocircuito. Resistencia de 1000 W

## Sobre corriente con pistolas de calor

### Datos:

- **Voltaje:** 118.9 V
- **Corriente:** 5.27 A



Figura 18 Detección de sobre corriente — pistolas de calor (5.27 A)

*Nota.* Se ingresa una corriente superior al umbral establecido por ello se muestra el mensaje de cortocircuito.

## Prueba de fuga a tierra

### Datos:

- **Voltaje:** 120.9 V
- **Corriente:** 0.03 A



Figura 19 Prueba de fuga a tierra (120.9 V / 0.03 A)

*Nota.* Se establece una fuga a tierra con ingreso de parámetros normales.

## Resumen de resultados

Escenario	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Resultado / Estado
Cargador de celular	120.6	0.03	3.62	Normal
Ventilador	121.0	0.28	33.88	Normal
Subtensión	0.0	0.0	0.00	Subtensión severa
Sobre tensión	216.4	0.0	0.00	Sobretensión
Sobrecorriente (Resistencia 1000 W)	116.8	8.29	968.27	Cortocircuito
Sobrecorriente (Pistolas de calor)	118.9	5.27	626.60	Cortocircuito
Prueba de fuga a tierra	120.9	0.03	3.63	Fuga a tierra

*Nota.* Los valores presentados en la tabla de “Resumen de Resultados” fueron obtenidos mediante la monitorización en tiempo real de cargas domésticas bajo condiciones controladas. La potencia activa (P) se calculó mediante el producto del voltaje (V) y la corriente (I) registrados en cada escenario. Los estados reportados en la columna “Resultado / Estado” corresponden a la respuesta del sistema de control frente a los umbrales de seguridad preestablecidos, validando la capacidad del prototipo para distinguir entre un funcionamiento nominal y condiciones de falla eléctrica.

## Análisis gráfico de resultados

Se cubrieron los 5 tipos de anomalía del sistema representados porcentualmente en la (figura 20) dando mayor peso a operación normal y sobre corriente (29% cada uno) por ser los eventos más frecuentes en instalaciones residenciales.

Distribución de escenarios de prueba

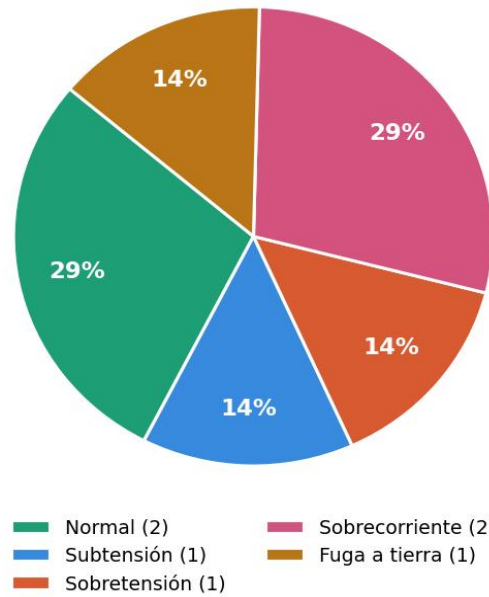


Figura 20 Distribución porcentual de los escenarios de prueba evaluados

En la figura 21 podemos observar que el sistema detectó correctamente las 7 pruebas con el 100% de efectividad.

Efectividad del sistema de detección



Figura 21 Tasa de detección correcta del sistema (7 de 7 pruebas)

En la figura 22 la sobre corriente con R1000W tiene el área más grande → es el escenario más peligroso energéticamente (968 W disipados, 83% de corriente máxima).

La sobretensión solo activa el eje de voltaje (98%) → el relé cortó la corriente inmediatamente, por eso corriente y potencia quedan en cero.

La sub tensión severa colapsa al centro → apagón total, las tres variables en cero.

La fuga a tierra tiene perfil idéntico al cargador normal → se detectó por lógica de pulsador, no por valores fuera de rango, lo cual es un punto técnico importante de explicar.

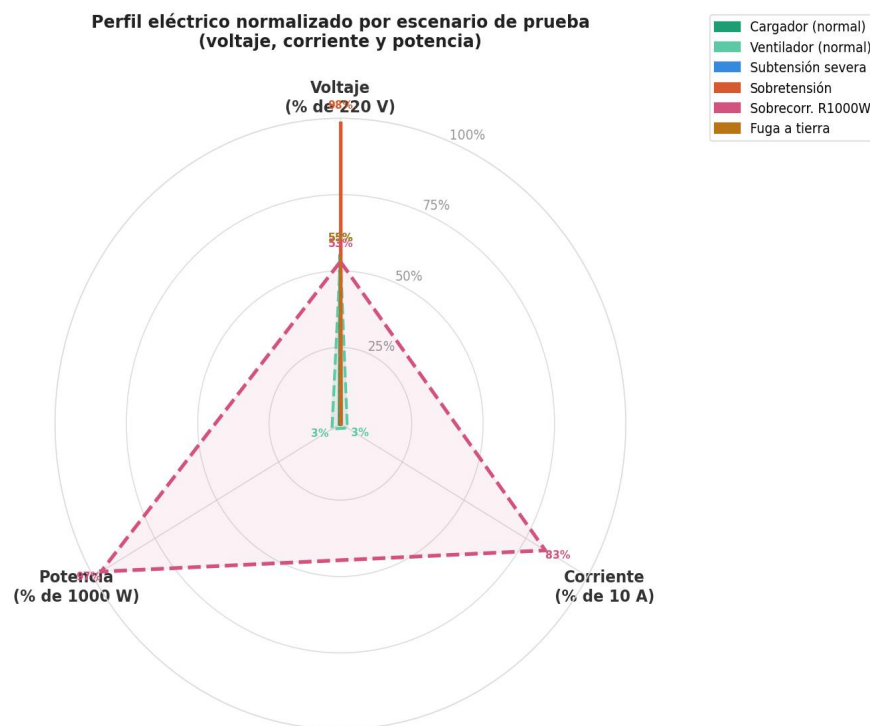


Figura 22 Gráfica radial — voltaje, corriente y potencia normalizados por escenario

En la figura 23 muestra con claridad cuáles escenarios superaron el umbral de 5 A. Solo dos lo hicieron: R1000W (+66% sobre el límite) y pistolas de calor (+5%). Todos los demás están por debajo, confirmando que el sistema no genera falsas alarmas.

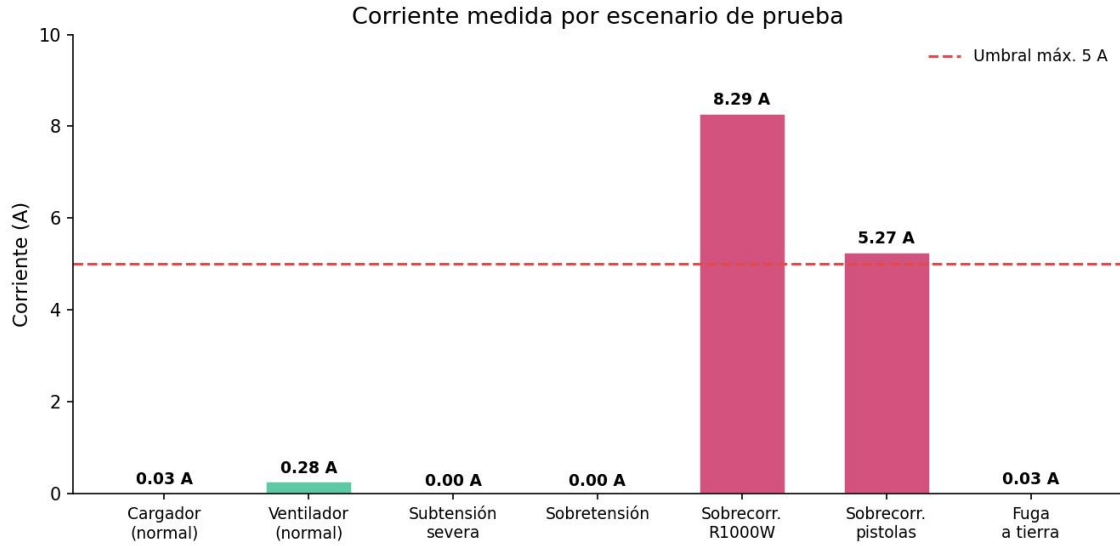


Figura 23 Corriente (A) registrada en cada escenario de implementación física

La sobretensión destaca con 216.4 V (+73% sobre el umbral de 125 V). La subtensión cae a 0 V. El resto de escenarios se mantiene entre 116–121 V, dentro del rango normal de la red residencial ecuatoriana ( $120\text{ V} \pm 10\%$ ).

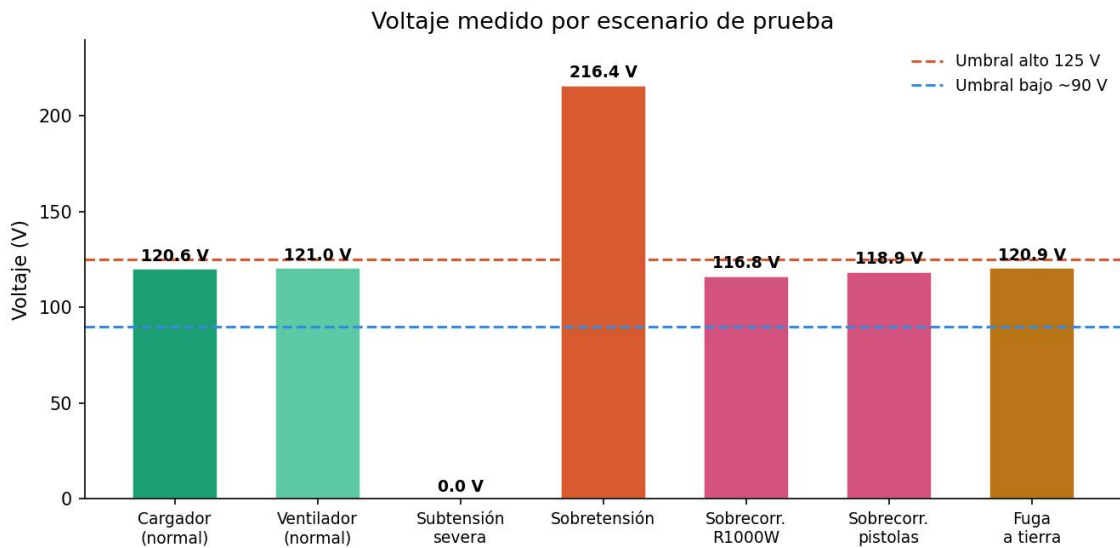


Figura 24 Voltaje (V) registrado en cada escenario de implementación física

## Conclusiones

En base al desarrollo del presente proyecto, se concluye que el análisis de los

fundamentos teóricos y parámetros eléctricos asociados a sobreconsumos, cortocircuitos y fallas a tierra permitió comprender el comportamiento de estas anomalías en redes eléctricas residenciales, así como sus efectos sobre los equipos y la seguridad del sistema. Este conocimiento fue fundamental para establecer criterios de detección y definir los umbrales de operación utilizados en el sistema propuesto.

El diseño del esquema eléctrico y del diagrama de funcionamiento permitió estructurar de manera adecuada la arquitectura del sistema de detección y monitoreo, integrando componentes como el microcontrolador ESP32, el módulo de medición, la pantalla LCD y los elementos de protección. Esta etapa facilitó la comprensión del flujo de información y la interacción entre los distintos elementos del sistema.

La simulación del sistema en el software Proteus permitió validar su funcionamiento bajo diferentes condiciones de operación, evidenciando su capacidad para detectar de manera efectiva anomalías como sobreconsumo, cortocircuito y falla a tierra. Los resultados obtenidos demostraron que el sistema responde de forma oportuna mediante la desconexión de la carga y la activación de alertas visuales y sonoras, garantizando la protección del sistema eléctrico.

Se concluye que el sistema desarrollado constituye una solución viable para el monitoreo y detección de anomalías en redes eléctricas residenciales, contribuyendo a mejorar la seguridad, prevenir daños en los equipos y optimizar la supervisión del consumo eléctrico.

Tras las pruebas realizadas en los diversos escenarios de carga, se concluye que el sistema de monitoreo y protección opera con un alto grado de precisión y fiabilidad. La implementación física demostró que el sistema no solo identifica correctamente el funcionamiento normal de dispositivos comunes (como cargadores y ventiladores), sino que reacciona de manera inmediata ante anomalías críticas.

Específicamente, la detección de eventos de sobretensión y subtensión garantiza la integridad de los equipos conectados al evitar que operen fuera de sus rangos tolerables. Asimismo, la respuesta ante sobrecorrientes (identificadas como cortocircuitos) y fugas a tierra confirma la efectividad de los algoritmos de protección, los cuales logran interrumpir

o señalar la falla antes de que se produzcan daños permanentes o riesgos eléctricos. En definitiva, los resultados obtenidos validan el diseño técnico y aseguran que la implementación física cumple con los estándares de seguridad necesarios para la gestión de cargas en un entorno residencial.

## Referencias

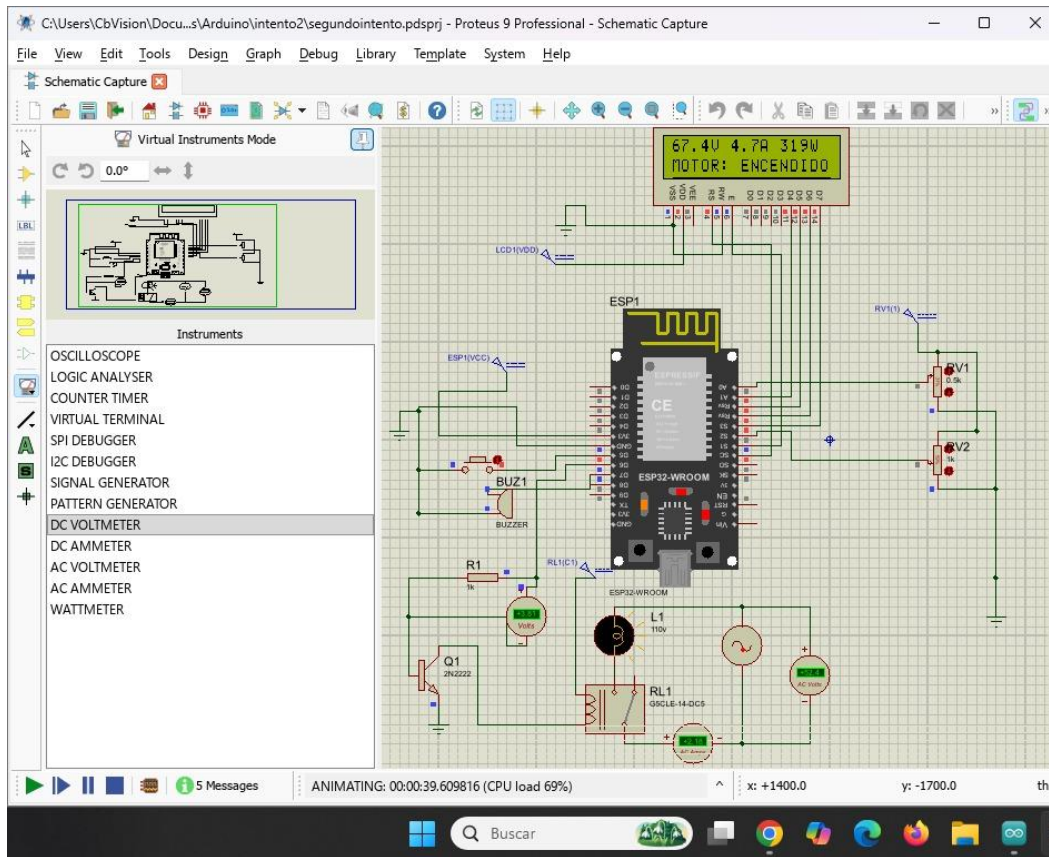
- Alabe, L. W., Kea, K., Han, Y., Min, Y. J., & Kim, T. (2022). A Deep Learning Approach to Detect Anomalies in an Electric Power Steering System. *Sensors*, 22(22), 8981. <https://doi.org/10.3390/s22228981>
- Al-Karkhi, M. I., Rzadkowski, G., Ibraheem, L., & Aqib, M. (2025). Anomaly Detection in Electrical Systems Using Machine Learning and Statistical Analysis. *Terra Joule Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.64071/3080-5724.1012>
- Anwar, A., & Mahmood, A. N. (2016). Anomaly detection in electric network database of smart grid: Graph matching approach. *Electric Power Systems Research*, 133, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.12.006>
- Benítez, M. (2024). *Diseño de un sistema embebido basado en microcontrolador para la medición y monitorización de voltaje de alta precisión*. [https://www.researchgate.net/publication/386216017\\_Designing\\_a\\_Microcontroller-based\\_Embedded\\_System\\_for\\_High-Precision\\_Voltage\\_Measurement\\_and\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/386216017_Designing_a_Microcontroller-based_Embedded_System_for_High-Precision_Voltage_Measurement_and_Monitoring)
- Calva, S. E. (2022). Diseño e Instalación de un Sistema Eléctrico Residencial. *INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO MARIANO SAMANIEGO*. <https://aplicaciones.marianosamaniego.edu.ec/omeka/files/original/86a24eac3439996cf53ede883bcf4765.pdf>
- Esmaili, F., Cassie, E., Nguyen, H. P. T., Plank, N. O. V., Unsworth, C. P., & Wang, A. (2023). Anomaly Detection for Sensor Signals Utilizing Deep Learning Autoencoder-Based Neural Networks. *Bioengineering*, 10(4), 405. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10040405>
- Jung, J., Park, H., Jung, H. Y., Jung, S. E., Kim, S. G., Kim, T. H., Lim, Y. J., Ku, B.-C., Kim, M., & Lee, S. H. (2024). Recent progress in liquid crystal devices and materials of TFT-LCDs. *Journal of Information Display*, 25(1), 121–142. <https://doi.org/10.1080/15980316.2023.2281224>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Boletín Energético Nacional*. <https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/08/Balance->

- Mo, J. P. T., Cheung, S. C. P., & Das, R. (2019). Electrical Power Systems. In *Demystifying Numerical Models* (pp. 109–126). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100975-8.00006-0>
- Ramos, E. J., Llerena Guevara, R. M., Flores Jaen, M. P., Rivas Pinargote, B. A., & Cornejo Mantuano, J. A. (2025). La importancia del consumo energético en el desarrollo económico de Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3671>
- Sandeep, S. (2024). Fundamentos del Sistema de Energía Eléctrica . *Editorial: Shineeks.Com* ISBN: 979-8-88940-883-3. [https://www.researchgate.net/publication/382082602\\_Fundamental\\_of\\_Electric\\_Power\\_System\\_-\\_Sandeep\\_Sharma](https://www.researchgate.net/publication/382082602_Fundamental_of_Electric_Power_System_-_Sandeep_Sharma)
- Shahid, Z., Saguna, S., Åhlund, C., & Mitra, K. (2025). Anomaly detection using transfer learning for electricity consumption in school buildings: A case of northern Sweden. *Energy and Buildings*, 346, 116129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116129>
- Strielkowski, W., Civiń, L., Tarkhanova, E., Tvaronavičienė, M., & Petrenko, Y. (2021). Renewable Energy in the Sustainable Development of Electrical Power Sector: A Review. *Energies*, 14(24), 8240. <https://doi.org/10.3390/en14248240>
- Syawali, R., & Meliala, S. (2023). IoT-Based Three-Phase Induction Motor Monitoring System. *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, 3(1), 12–18. <https://doi.org/10.29103/jreece.v3i1.9811>
- Vasseur, J.-P., & Dunkels, A. (2010). What Are Smart Objects? In *Interconnecting Smart Objects with IP* (pp. 3–20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375165-2.00001-6>
- Yan, Y., Wang, C., Zhang, F., Wu, L., Zang, J., Liu, T., Tang, S., & Ye, Z. (2025). Development and Implementation of a System for Electrical Engineering BIM Detailed Design in Construction Projects. *Buildings*, 15(16), 2960. <https://doi.org/10.3390/buildings15162960>

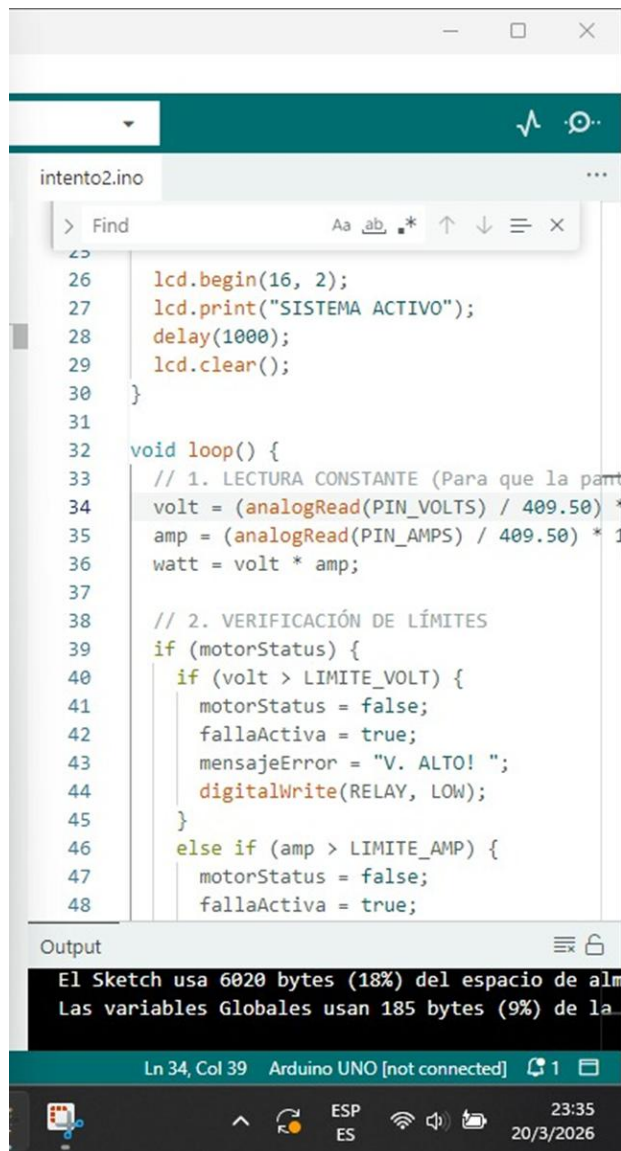


# Anexos

## Simulación en proteus



## Programación en Arduino



```
intento2.ino
> Find
25
26   lcd.begin(16, 2);
27   lcd.print("SISTEMA ACTIVO");
28   delay(1000);
29   lcd.clear();
30 }
31
32 void loop() {
33   // 1. LECTURA CONSTANTE (Para que la parte
34   volt = (analogRead(PIN_VOLTS) / 409.50) * 5;
35   amp = (analogRead(PIN_AMPS) / 409.50) * 5;
36   watt = volt * amp;
37
38   // 2. VERIFICACIÓN DE LÍMITES
39   if (motorStatus) {
40     if (volt > LIMITE_VOLT) {
41       motorStatus = false;
42       fallaActiva = true;
43       mensajeError = "V. ALTO! ";
44       digitalWrite(RELAY, LOW);
45     }
46     else if (amp > LIMITE_AMP) {
47       motorStatus = false;
48       fallaActiva = true;
49     }
50   }
51 }
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
26
```