



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA DE TELEGESTIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA  
SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES**

---

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

**ÁREA:** Comunicaciones

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnologías de la Información y Sistemas de Control

**AUTOR:** Elvis Rolando Oñate Zuñiga

**TUTOR:** Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg

**Ambato - Ecuador**

**agosto – 2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE TELEGESTIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Elvis Rolando Oñate Zuñiga, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto 2022.

-----  
Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg  
TUTOR

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE TELEGESTIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2022.



Elvis Rolando Oñate Zuñiga

C.C. 1804971586

AUTOR

## **APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Elvis Rolando Oñate Zuñiga, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE TELEGESTIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, agosto 2022.

-----

Ing. Pilar Urrutia, Mg.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

-----

Dr. Alberto Ríos Villacorta, Msc.  
**PROFESOR CALIFICADOR**

-----

Ing. Mario García Carrillo  
**PROFESOR CALIFICADOR**

## DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, agosto 2022.



Elvis Rolando Oñate Zuñiga

C.C. 1804971586

AUTOR

## DEDICATORIA

*El presente trabajo se lo dedico a mi madre Clara, por su gran amor, sacrificio, y apoyo incondicional durante este duro camino.*

*A mi hermana Lizbeth por haberme apoyado en los momentos difíciles durante mis estudios.*

*A mis abuelitos Eloisa y Carlos que en paz descansen, por su apoyo y consejos.*

*A mis Tíos por darme ánimos y fuerza para seguir adelante y no rendirme en ningún momento.*

*Elvis Rolando Oñate Zuñiga*

## INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DERECHOS DE AUTOR.....	V
DEDICATORIA .....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS .....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO I.....	17
MARCO TEÓRICO.....	17
1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	17
1.2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	17
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	22
1.2.2.1. Situación del sector Eléctrico del Ecuador .....	22
1.2.2.2. Problemas en el sector Eléctrico del Ecuador.....	22
1.2.2.3. Clientes .....	23
1.2.2.4. Niveles de voltaje.....	23
1.2.2.5. Rangos admisibles de voltaje.....	24
1.2.2.6. Principales problemas en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje. ....	24
1.2.2.6.1. Transitorios .....	24
1.2.2.6.2. Interrupciones .....	27

1.2.2.6.3.	Subtensión.....	28
1.2.2.6.4.	Sobretensión.....	29
1.2.2.6.5.	Distorsión de la forma de onda .....	30
1.2.2.6.6.	Fluctuación de tensión .....	32
1.2.2.6.7.	Variaciones de Frecuencia .....	32
1.2.2.7.	Comparación entre los problemas en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje .....	33
1.2.2.8.	Tolerancia de equipos electrónicos a sobretensiones y subtensiones 35	
1.2.2.9.	Dispositivos de protección contra sobretensiones .....	35
1.2.2.9.1.	Protector contra sobretensiones permanentes (POP) .....	35
1.2.2.9.2.	Protector contra transitorios/sobretensiones transitorias (SPD) .....	36
1.2.2.9.3.	Protectores Breakermatic .....	38
1.2.2.9.4.	Protección Combinada .....	38
1.2.2.10.	Elementos electrónicos para mediciones eléctricas en CA.....	39
1.2.2.11.	Sistema de Telegestión .....	40
1.2.2.12.	Infraestructura de medición avanzada (AMI) .....	41
1.2.2.13.	Sistemas Operativos en tiempo real (RTOS) .....	41
1.2.2.14.	Amazon Web Services.....	42
1.2.2.15.	Flutter.....	42
1.2.2.16.	GPRS (General Packet Radio Service).....	44
1.3.	OBJETIVOS.....	45
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL .....	45
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	45

CAPÍTULO II .....	46
METODOLOGÍA .....	46
2.1. MATERIALES .....	46
2.2. MÉTODOS .....	46
2.2.1. Modalidad de la Investigación .....	46
Población y Muestra .....	47
Recolección de Información .....	47
Procesamiento y Análisis de datos .....	47
Desarrollo del Proyecto .....	47
CAPÍTULO III .....	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49
3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	49
3.1.1. Análisis de la investigación .....	49
3.1.2. Desarrollo de la propuesta .....	53
3.1.2.1. Selección del sensor de corriente .....	53
3.1.2.2. Selección del sensor de voltaje .....	54
3.1.2.3. Selección del dispositivo de comunicación inalámbrica .....	54
3.1.2.4. Selección de la placa controladora .....	55
3.1.2.5. Selección del actuador de estado solido .....	56
3.1.2.6. Dispositivo para pruebas de funcionamiento .....	57
3.1.2.7. Control, Adquisición y Transmisión de Datos .....	57
3.1.2.8. Diseño de Infraestructura Cloud Amazon Web Services (AWS) .....	62
3.1.2.9. Despliegue del Broker MQTT en Amazon Web Services (AWS) .....	62

3.1.2.10.	Diseño del PCB.....	72
3.1.2.11.	Desarrollo de la Aplicación Móvil.....	73
3.1.2.12.	Diseño y Ensamble de la estructura física .....	78
3.1.3.	Presupuesto .....	80
3.1.4.	Análisis de Costo – Beneficio.....	82
3.1.5.	Resultados .....	84
CAPÍTULO IV.....		100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		100
3.1.	Conclusiones.....	100
3.2.	Recomendaciones.....	101
MATERIAL DE REFERENCIA .....		103
ANEXOS.....		107

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Histórico de las horas equivalentes a desconexión .....	23
<b>Figura 2.-</b> Transitorio impulsivo positivo causado por un evento de descarga electrostática.....	25
<b>Figura 3.-</b> Transitorio oscilatorio típico de baja frecuencia .....	26
<b>Figura 4.-</b> Interrupción eléctrica.....	27
<b>Figura 5.-</b> Sobretensión Eléctrica.....	29
<b>Figura 6.-</b> Reducción de sobretensiones transitorias mediante una protección escalonada .....	37
<b>Figura 7.-</b> Estructura de un medidor/sensor de corriente alterna no invasivo.....	39
<b>Figura 8.-</b> Sistema de telegestión para medición de consumo eléctrico en residencias .....	40
<b>Figura 9.-</b> Funcionamiento de la multitarea en un RTOS.....	41
<b>Figura 10.-</b> Arquitectura de capas de Flutter.....	43
<b>Figura 11.-</b> Enfoque de Flutter para desarrollo de aplicaciones móviles Android y iOS .....	44
<b>Figura 12.-</b> Diagrama de bloques del sistema de telegestión de protección contra sobretensiones .....	52
<b>Figura 13.-</b> Mapa de cobertura Movistar en tecnología 2G del cantón Pelileo .....	59
<b>Figura 14.-</b> Niveles de señal en tecnología 2G .....	59
<b>Figura 15.-</b> Diagrama de conexiones de los componentes electrónicos .....	60
<b>Figura 16.-</b> Diagrama de flujo del código para el ESP32 .....	61
<b>Figura 17.-</b> Infraestructura Cloud AWS para Broker MQTT .....	62
<b>Figura 18.-</b> Proceso para subir imagen Docker de Eclipse Mosquitto a Amazon ECR .....	63
<b>Figura 19.-</b> Imagen Docker subida a Amazon ECR.....	63
<b>Figura 20.-</b> Selección del tipo de lanzamiento.....	64
<b>Figura 21.-</b> Configuración de parámetros básicos de la definición de tarea.....	64
<b>Figura 22.-</b> Configuración de parámetros de CPU y memoria .....	65
<b>Figura 23.-</b> Añadir una definición de contenedor .....	65
<b>Figura 24.-</b> Configuración del contenedor .....	66
<b>Figura 25.-</b> Definición de tarea creada.....	66

<b>Figura 26.-</b> Creación de un Clúster de ECS .....	67
<b>Figura 27.-</b> Configuración de parámetros de instancia EC2 .....	68
<b>Figura 28.-</b> Configuración de red para la instancia EC2.....	68
<b>Figura 29.-</b> Métricas del clúster de ECS .....	69
<b>Figura 30.-</b> Creación de un servicio .....	69
<b>Figura 31.-</b> Configuración del servicio .....	70
<b>Figura 32.-</b> Estado del servicio .....	71
<b>Figura 33.-</b> Estado de la tarea.....	71
<b>Figura 34.-</b> información del contenedor corriendo en la tarea.....	71
<b>Figura 35.-</b> Diagrama Electrónico en Eagle.....	72
<b>Figura 36.-</b> Diagrama de circuito impreso en Eagle .....	73
<b>Figura 37.-</b> Diagrama de clases UML de la aplicación móvil .....	73
<b>Figura 38.-</b> Diagrama de secuencia de la aplicación móvil .....	75
<b>Figura 39.-</b> Diagrama de secuencia de las notificaciones de alerta .....	76
<b>Figura 40.-</b> Interfaces de la aplicación móvil.....	76
<b>Figura 41.-</b> Interfaz y notificación de alertas .....	77
<b>Figura 42.-</b> Creación del APK de la aplicación móvil .....	77
<b>Figura 43.-</b> APK creado .....	78
<b>Figura 44.-</b> Diseño en 3D de la estructura y sus elementos internos .....	79
<b>Figura 45.-</b> Diseño en 3D del prototipo con el PCB y la tapa frontal.....	79
<b>Figura 46.-</b> Ensamble del prototipo.....	80
<b>Figura 47.-</b> Medición de voltaje con un refrigerador como carga .....	86
<b>Figura 48.-</b> Medición de corriente con una licuadora como carga.....	88
<b>Figura 49.-</b> Diagrama de conexión en una residencia.....	89
<b>Figura 50.-</b> Conexión del prototipo en una residencia.....	89
<b>Figura 51.-</b> Medición 1 de voltaje con el prototipo en una residencia.....	90
<b>Figura 52.-</b> Medición 2 de voltaje con el prototipo en una residencia.....	90
<b>Figura 53.-</b> Medición de corriente con el prototipo en una residencia .....	91
<b>Figura 54.-</b> Monitoreo de mediciones en la residencia .....	92
<b>Figura 55.-</b> Diagrama de conexión con la carga resistiva .....	93
<b>Figura 56.-</b> Mediciones de corriente con una plancha .....	93
<b>Figura 57.-</b> Notificación móvil por aumento de corriente .....	94
<b>Figura 58.-</b> Diagrama de bloques con Variac .....	94

<b>Figura 59.-</b> Prueba de funcionamiento #1 con bajadas de voltajes.....	96
<b>Figura 60.-</b> Prueba de funcionamiento #2 con bajadas de voltajes.....	96
<b>Figura 61.-</b> Notificación por alerta de Sobretensión .....	97
<b>Figura 62.-</b> Prueba de funcionamiento #1 con subidas de voltaje .....	98
<b>Figura 63.-</b> Prueba de funcionamiento #2 con subidas de voltaje .....	99
<b>Figura 64.-</b> Notificación por alerta de Sobretension.....	99

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Energía no Suministrada.....	22
<b>Tabla 2.-</b> Numero de cliente por grupos de consumo .....	23
<b>Tabla 3.-</b> Niveles de Voltaje.....	23
<b>Tabla 4.-</b> Rangos admisibles de voltaje.....	24
<b>Tabla 5.-</b> Rangos de duración de interrupciones eléctricas.....	27
<b>Tabla 6.-</b> Tabla comparativa de las perturbaciones eléctricas.....	34
<b>Tabla 7.-</b> Características de protectores contra transitorios .....	50
<b>Tabla 8.-</b> Comparación de los tipos de protectores contra sobretensiones-transitorios .....	51
<b>Tabla 9.-</b> Tabla comparativa de los sensores de corriente.....	53
<b>Tabla 10.-</b> Tabla comparativa de sensores de voltaje.....	54
<b>Tabla 11.-</b> Tabla comparativa de sensores de comunicación inalámbrica .....	55
<b>Tabla 12.-</b> Tabla comparativa de placas controladoras .....	55
<b>Tabla 13.-</b> Tabla comparativa de actuadores de estado sólido .....	56
<b>Tabla 14.-</b> Especificaciones de Variac Monofásico TDGC2 .....	57
<b>Tabla 15.-</b> Presupuesto de materiales, servicios e insumos del proyecto.....	81
<b>Tabla 16.-</b> Presupuesto final del proyecto de investigación.....	82
<b>Tabla 17.-</b> Comparación con equipos comerciales.....	83
<b>Tabla 18.-</b> Análisis costo - beneficio.....	84
<b>Tabla 19.-</b> Mediciones de voltaje con cargas .....	86
<b>Tabla 20.-</b> Mediciones de corriente con cargas.....	87
<b>Tabla 21.-</b> Mediciones de voltaje en una residencia .....	89
<b>Tabla 22.-</b> Mediciones de corriente en una residencia .....	91
<b>Tabla 23.-</b> Mediciones con bajadas de voltaje aplicadas a una carga .....	95
<b>Tabla 24.-</b> Mediciones con subidas de voltajes aplicadas a una carga.....	98

## RESUMEN EJECUTIVO

Comúnmente se producen daños en equipos electrónicos y electrodomésticos debido a la sobrexposición prologada o recurrente a las sobretensiones del suministro eléctrico, produciendo una pérdida monetaria para las personas.

En el presente proyecto de investigación se describe el desarrollo de un sistema de telegestión de protección contra sobretensiones eléctricas residenciales, basado en hardware y software libre.

El dispositivo cuenta con sensores de corriente y voltaje, que permiten medir el voltaje y corriente en AC. Cuando los sensores detectan un aumento brusco de voltaje y/o corriente, así como una disminución de voltaje por debajo del 10% del voltaje nominal, la placa controladora ESP32 cortara automáticamente el suministro de energía eléctrica hacia la residencia como medida de protección contra sobretensiones, subtensiones o aumentos de corriente; para esto se utiliza un relé de estado sólido capaz de soportar una corriente de carga de hasta 200 A.

Para monitorear los valores de voltaje y corriente que está marcando el dispositivo de forma remota desde cualquier parte del mundo se desarrolló una aplicación móvil Android utilizando el Framework de desarrollo Flutter. Los datos son leídos por la aplicación del Broker MQTT que se encuentra en la plataforma de cloud computing Amazon Web Services bajo el servicio de contenedores Amazon ECS. Los datos de voltaje y corriente son enviados a este Broker desde el dispositivo mediante un módulo SIM800L, que hace uso de la tecnología GPRS. Se considero como la mejor opción la utilización de GPRS para evitar incidencias relacionadas con las comunicaciones, ya que no hay dependencia de algún tipo de concentrador o router.

**Palabras clave:** Sobretensiones, voltaje, corriente, MQTT, GPRS, Amazon ECS

## ABSTRACT

Damage to electronic equipment and household appliances commonly occurs due to prolonged or recurring overexposure to surges in the electrical supply, producing monetary loss for people.

This research project describes the development of a remote management system for protection against residential electrical surges, based on hardware and free software.

The device has current and voltage sensors, which allow to measure the voltage and current in AC. When the sensors detect a sudden increase in voltage and/or current, as well as a decrease in voltage below 10% of the nominal voltage, the ESP32 controller board will automatically cut off the electrical power supply to the residence as a measure of protection against overvoltage, undervoltage or current surges; For this, a solid-state relay capable of withstanding a load current of up to 200 A is used.

To monitor the voltage and current values that the device is marking remotely from anywhere in the world, an Android mobile application was developed using the Flutter development framework. The data is read by the MQTT Broker application located on the Amazon Web Services cloud computing platform under the Amazon ECS container service. The voltage and current data are sent to this Broker from the device through a SIM800L module, which uses GPRS technology. The use of GPRS was considered the best option to avoid incidents related to communications, since there is no dependence on any type of hub or router.

**Keywords:** Overvoltage, voltage, current, MQTT, GPRS, Amazon ECS

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN**

**SISTEMA DE TELEGESTIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES.**

#### **1.2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

La investigación se fundamentó en los diferentes trabajos de investigación de los repositorios de las diferentes universidades del Ecuador, así como en artículos de investigación presentados y publicados en conferencias de la IEEE y revistas de investigación, recopilando información concerniente a los sistemas inteligentes para protección de dispositivos electrónicos contra sobretensiones.

En Enero del 2021, en la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Patricio Guevara y Andrés Valle en su trabajo de titulación “Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo y generación de energía eléctrica residencial y desarrollo de una aplicación en Android para monitoreo y recepción de alertas”, detallan la construcción de un medidor monofásico bidireccional inteligente para la medición de consumo eléctrico y generación de electricidad en sistema de micro generación fotovoltaica. El sistema está constituido por una placa electrónica para la medición de voltaje y corriente de forma no invasiva a través de sensores especializados; los datos de las mediciones son enviados hacia un servidor WAMP mediante comunicación WI-FI. Para separar las operaciones del servidor con respecto a la aplicación los autores utilizaron la arquitectura REST en la parte del servidor WAMP, para la implementación de una API y así mejorar la escalabilidad. Para el desarrollo de la aplicación móvil emplearon el Framework de código abierto IONIC. Todos los datos de consumo y generación se registran en el servidor hasta un periodo de 30 días, que pueden ser consultados a través de la aplicación Android, además se pueden tener alertas y notificaciones cuando exista un sobreconsumo o sobre generación que no debe sobrepasar los 10 KW de acuerdo con la Resolución ARCONEL 003-/18 para clientes micro generadores. Después de las pruebas realizadas por los investigadores determinaron que el prototipo

había producido errores porcentuales de exactitud menores al 2% para los escenarios de consumo y generación en los que fue probado el prototipo. [1]

En el artículo publicado en 2020 en la Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT 2020), por Akhil Jose, Aneeta Varghese, Femi Elie, Philip Jacob, Anumod M y Dennis Thomas, titulado “Solid-State Circuit Breaker based Smart Distribution Board with IoT Integration”, se propone la construcción de un tablero de distribución inteligente para sistemas residenciales y comerciales de baja tensión, basado en interruptores de estado sólido para la protección mediante conmutaciones rápidas. El sistema está controlado por una placa de desarrollo Arduino que mediante interfaces de potencia compuesto de elementos SCR accionan interruptores de estado sólido. La medición de todas las magnitudes eléctricas mediante ciertas interfaces electrónicas las hace la placa Arduino y mediante la placa WI-FI ESP8266 se realiza un monitoreo en tiempo real en la aplicación móvil Blynk. Además, se utiliza un Amazon Alexa para la automatización y desactivación de ciertos dispositivos de estado sólido por comandos de voz. Cuando se detecta una sobretensión o un sobreconsumo de corriente el sistema automáticamente da la orden los interruptores de estado sólido de cortar el suministro de electricidad y además se envía una alerta por email. El rendimiento del Solid-State Circuit Breaker fue evaluado mediante una simulación en Matlab Simulink de cada uno de los subcircuitos que conforman el dispositivo y determinaron que una vez detectada cierta anomalía en el suministro eléctrico la respuesta de interrupción de suministro eléctrico es menor a  $2\mu\text{s}$ . [2]

En el año 2019 Wen An, Wang Fei, Xianxiang Li, Tian Le y Zhao Pan en su artículo de investigación titulado “Development of a Smart Low Voltage Circuit Breaker with Integrated Protection and Control Functions Based on Wireless Communications”, se centran en la implementación de un disyuntor inteligente de bajo voltaje para la protección y control mediante comunicaciones inalámbricas. El disyuntor tiene funciones de protección contra sobrecorriente, sobretensión y disminución de tensión, mediante aperturas y cierres automáticos o remotos. El sistema está controlado por una unidad microcontroladora de alto rendimiento, que

recibe los datos de las distintas interfaces, encargadas de la medición de magnitudes eléctricas. Para el monitoreo y control inalámbrico se lo hace a través de un módulo GSM, que envía todos los datos hacia un centro de control y también manda las ordenes hacia relés ubicados en un lugar diferente para cortar el suministro de energía cuando se detecte alguna anomalía. En el centro de control se tiene un monitoreo en tiempo real de las magnitudes eléctricas y el estado de cada uno de los relés encargados de cortar el suministro de electricidad. En caso de fallos en las comunicaciones inalámbricas se implementó comunicaciones alámbricas con el estándar RS485. Tanto en el centro de control y el personal son notificados con una alerta, cuando se presente algún problema. Al tener comunicaciones alámbricas en caso de que las comunicaciones inalámbricas sufran algún desperfecto determinaron que el sistema es más eficiente y se reduce considerablemente ciertos retrasos en términos de comunicaciones. [3]

En el artículo de investigación publicado en Agosto de 2019 por Osama Rashid, Abdulmuttalib Rashid, Israa Sabri y Alaa AL-Mayoof, titulado “Designing and Building an Over Voltage Protection System for a Smart Home”, los autores detallan el diseño y construcción de un sistema de protección contra sobretensiones para una casa inteligente, el cual está compuesto por una unidad de control principal, donde se realizan todas las lecturas eléctricas mediante sensores. El sistema está pensado para el control y protección de dispositivos individuales de luces, calentadores de agua y aires acondicionados. Todo el monitoreo es procesado en una placa Arduino Mega 2560, que envía los datos a una interfaz gráfica desarrollada en Visual Basic, en la cual se pueden observar el valor de mediciones, estado y control de los diferentes dispositivos, pero también en el prototipo se tiene un LCD donde se pueden observar las medidas de los parámetros eléctricos, así como un teclado matricial para activar o desactivar los dispositivos. Gracias a la implementación de este sistema determinaron que cargas con un consumo de corrientes pequeñas, el sistema tiene un mejor rendimiento del dispositivo en comparación con cargas que consumen más corriente, ya que se produce sobrecalentamiento en el sistema de conmutación. [4]

En el artículo publicado en la revista PLOS ONE en el año 2018 titulado “Power-system protection device with IoTbased support for integration in Smart environments”, Octavian Mihai Machidon, Cornel Stanca, Petre Ogrutan, Carmen Geriga y Lia Aciu, describen el desarrollo de un dispositivo para la protección de sistemas eléctricos aplicable a entornos basados en internet de las cosas. La finalidad del dispositivo es la desconexión de dispositivos de la red eléctrica para evitar daños contra fugas de corriente, sobretensiones, sobrecorrientes y arcos eléctricos, así como el monitoreo en tiempo real de las magnitudes eléctricas y eventos mediante una interfaz web. Todas las mediciones son recolectadas por un microcontrolador PIC 16F1829 y mediante un módulo RF se envía todos los datos hacia un concentrador local conectado a internet para ser llevados hasta un servidor en la nube. El servidor está basado en el entorno de ejecución NodeJS, para el desarrollo de una API que almacena la información en una base de datos PostgreSQL. Todos los datos son consultados por un interfaz web a la API, para un monitoreo en tiempo real, además se cuentan con notificación por e-mail y SMS cada vez que se detectan ciertas anomalías. Para evitar daños en el prototipo y la carga conectada, los autores implementaron una fuente de alimentación contra sobretensiones y reconexión automática de la carga después de un tiempo determinado o una vez que ya no exista alteraciones en la red eléctrica y sea seguro para los dispositivos. Tras someter el prototipo un determinado número de pruebas de campo determinaron que la detección era muy rápida, con tiempos menores a 250 us y desconexión de la carga eléctrica de máximo 10 ms. [5]

### **1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA**

De acuerdo con al informe de actividades y gestión de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCONEL), durante el año 2019 se recibió el mayor número solicitudes de reclamos en segunda instancia por daños en equipos electrónicos del servicio público de energía eléctrica y del servicio de alumbrado público general. Entre los reclamos se encuentran 8 solicitud de parte empresas que sufrieron daños irreparables en equipos especializados. Las empresas que remitieron las solicitudes de reclamos fueron: CNEL EP Unidad de Negocio MAN,

Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo (GYE), LRS, Empresa Eléctrica Galápagos y Empresa Eléctrica Quito. [6]

Generalmente los daños producidos a los equipos electrónicos y electrodomésticos se deben a la sobrexposición prologada o recurrente a las sobretensiones del suministro eléctrico, significando una pérdida monetaria para las personas. Para evitar este tipo de daños se pueden optar por el uso de dispositivos protectores comerciales que permiten el corte de suministro de electricidad a ciertos equipos electrónicos y electrodomésticos, pero se debe hacer una fuerte inversión ya que se necesita de dispositivo individual para cada equipo. También se puede optar por la implementación de un tablero de protección con elementos electromecánicos o magnéticos, que de igual forma resultan en altos costos.

Para resolver este tipo de problemas la CNEL EP y las empresas eléctricas del Ecuador abrieron canales de atención para este tipo de reclamos; para lo cual las personas afectadas deben realizar una solicitud de reclamo para una evaluación de daños y posterior indemnización de los equipos electrónicos que sufrieron algún daño, siempre y cuando los daños se encuentren bajo las condiciones establecidas por la CNEL EP. A pesar de que la CNEL EP o las Empresas Eléctricas se hagan responsables de las pérdidas, no se cubren en su totalidad el valor de los equipos o electrodomésticos, ya que generalmente solo se cubre los gastos de reparación. Cuando el equipo ya no se puede reparar no se entrega un equipo nuevo, sino que se evalúa el costo en base a la depreciación de los equipos, desencadenando en una indemnización que no le permitirá comprar un equipo nuevo al afectado. Además, ciertas entidades o empresas eléctricas no se hacen responsables por los daños debido a que el o los afectados deben presentar una factura de compra de los equipos que demuestren que el equipo es de su propiedad, pero en la mayoría de los casos no son equipos recién adquiridos y los propietarios ya no cuentan con la factura de compra.

Por tales razones se propone el presente proyecto de investigación para el desarrollo de un sistema de telegestión de protección contra sobretensiones eléctricas para hogares en la ciudad de Ambato, contando con un monitoreo en

una aplicación móvil, mediante la integración de software y hardware libre, además de interfaces de potencia que permitirán el corte general del suministro de energía de una residencia, para evitar que los equipos electrónico y electrodomésticos sufran daños por las sobretensiones de la red eléctrica. Para un control y protección de todo el sistema eléctrico del hogar la mejor ubicación del sistema es entre el medidor de energía eléctrica y la caja de breakers.

## 1.2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1.2.2.1. Situación del sector Eléctrico del Ecuador

De acuerdo con la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, al 2020, la capacidad de generación a nivel nacional se registró en 8.712,29 MW de potencia nominal y 8.095,25 MW de potencia efectiva; se incluyen las empresas generadoras, auto generadoras y distribuidoras con generación. [7]

### 1.2.2.2. Problemas en el sector Eléctrico del Ecuador

De acuerdo con la Tabla 1, en el año 2020 se registró una energía no suministrada (ENS) de 16 285 MWh; de los cuales el 60,7 % corresponden a fallas y el 39.9 % a mantenimientos. Un 73% de las fallas fueron en el sistema de distribución. [8]

<b>ENERGÍA NO SUMINISTRADA</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Energía</b>	<b>Porcentaje</b>
Fallas 60,7 %	Generación	2 %
	Transmisión	16 %
	Distribución	73 %
	Sistemático	8 %
Mantenimientos 39.3 %	Generación	2 %
	Transmisión	36 %
	Distribución	62 %

**Tabla 1.- Energía no Suministrada [8]**

Durante el 2020 se tuvo un promedio de 5.88 horas de desconexión de demanda por fallas o mantenimientos; con respecto al 2019 hubo un aumento de 0.52 horas. [8]. En el histórico de la Figura 1, se puede identificar cada uno de los datos mencionados.



*Figura 1.- Histórico de las horas equivalentes a desconexión [8]*

### 1.2.2.3. Clientes

Los clientes del servicio de energía eléctrica están integrados por clientes regulados y no regulados. Para el 2020, se registraron un total de 5.368.493 clientes regulados comprendidos en los grupos de consumo residencial, comercial, industrial y otros. [7]

De acuerdo con la Tabla 2 el grupo de consumo que registra la mayor cantidad de clientes regulados es el sector residencial con 4 751 187 clientes. [7]

GRUPOS	CLIENTES
Residencial	4 751 187
Comercial	495 079
Industrial	41 251
Otros	80 976

*Tabla 2.- Numero de cliente por grupos de consumo [7]*

### 1.2.2.4. Niveles de voltaje

En la Tabla 3 se detallan los niveles de voltaje que se manejan en el sector eléctrico del Ecuador; en el sector residencial el nivel de voltaje que se maneja es inferior a 600 voltios, ubicándose en el nivel de bajo voltaje. [9]

CATEGORÍA	NIVEL	VALOR
Residencial	Bajo voltaje	$V \leq 600 V$
General	Medio voltaje	$600 < V \leq 40 kV$
	Alto voltaje grupo 1	$40 kV < V \leq 138 kV$
	Alto voltaje grupo 2	$V > 138 kV$

*Tabla 3.- Niveles de Voltaje [9]*

Los voltajes predominantes en el sector residencial, comercial e industrial son [9]:

- Voltaje monofásico de 120 V a 60 Hz
- Voltaje bifásico de 220 V
- Voltaje trifásico de 220 V

#### 1.2.2.5. Rangos admisibles de voltaje

Las empresas eléctricas y distribuidoras de energía eléctrica a nivel nacional están obligadas a cumplir con los niveles de voltaje establecidos en puntos específicos de medición. Al menos el 95% o más de los registros de las variaciones de voltaje en todas las fases, durante periodo de evaluación que se lleva a cabo en un mínimo de 7 días consecutivos, deben encontrarse dentro del rango admisible. [10]

Para una mayor perspectiva la Tabla 4 muestra los rangos admisibles de voltaje para cada uno de los niveles o grupos de voltaje que existen en Ecuador.

NIVEL DE VOLTAJE	RANGO ADMISIBLE
Bajo voltaje	$\pm 8\%$
Medio voltaje	$\pm 6\%$
Alto voltaje grupo 1	$\pm 5\%$
Alto voltaje grupo 2	

*Tabla 4.- Rangos admisibles de voltaje [10]*

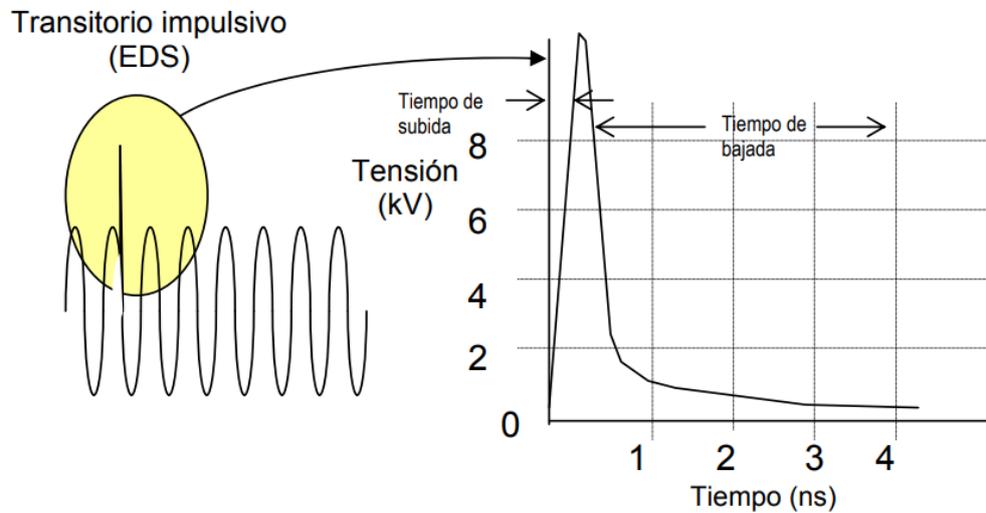
#### 1.2.2.6. Principales problemas en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje.

##### 1.2.2.6.1. Transitorios

###### a. Impulsivos

Eventos repentinos de cresta alta que elevan la tensión y/o los niveles de corriente en dirección positiva o negativa que ocurren muy rápidos. El ascenso del voltaje desde un estado estable hasta una cresta ocurre en 5 nanosegundos o incluso en menor tiempo. [11]

En la Figura 2 se puede observar un ejemplo de un transitorio impulsivo producido por una descarga electrostática, donde se produce una subida de tensión en el orden de los KV en un tiempo inferior a 1 ns.



**Figura 2.-** Transitorio impulsivo positivo causado por un evento de descarga electrostática

**Causas [11]:**

- Caídas de rayos
- Puesta a tierra deficiente
- Encendido de cargas inductivas
- Liberación de fallas de la red eléctrica
- ESD (descarga electrostática).

**Efectos [11]:**

- Pérdida de datos en equipos de cómputo.
- Daño y destrucción de los equipos y electrodomésticos conectados a la red eléctrica.

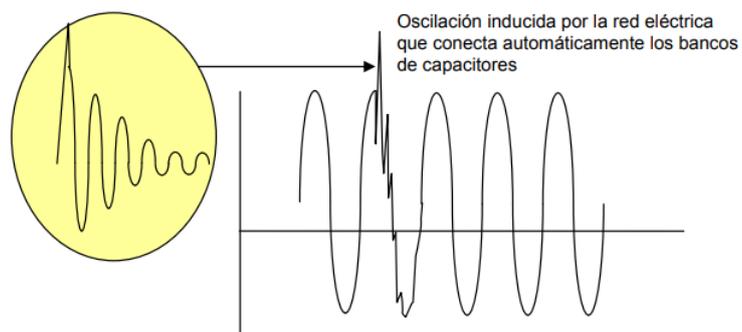
**Soluciones [11]:**

- Eliminación de la ESD potencial.
- Uso de dispositivos de supresión de sobretensiones (popularmente conocidos como Supresores de sobretensión transitoria: TVSS, o Dispositivo de protección contra sobretensiones: SPD).

**b. Oscilatorios**

Es un cambio inmediato en el que se pasa de un estado estable de tensión o corriente de una señal, o incluso de ambas variables en los límites positivo y negativo de la señal, que se encuentra oscilando a la frecuencia natural del sistema. Esto produce que la señal de suministro tenga un aumento y bajada de tensión alternadamente y demasiado rápida. También pueden tener un descenso a cero dentro de un ciclo (oscilación descendente). [11]

La Figura 3 muestra un claro ejemplo de una oscilación inducida por la red eléctrica cuando se conectan bancos de capacitores.



**Figura 3.-** Transitorio oscilatorio típico de baja frecuencia

#### **Causas [11]:**

- Conmutación de cargas inductivas o capacitivas, como motores o bancos de capacitores; porque la carga resiste el cambio.
- Operaciones de conexión de la red eléctrica (especialmente cuando los bancos de capacitores se conectan automáticamente al sistema)
- Disparo de controles de velocidad automáticos (ASD)

#### **Efectos [11]:**

- Daño y destrucción de los equipos y electrodomésticos conectados a la red eléctrica.

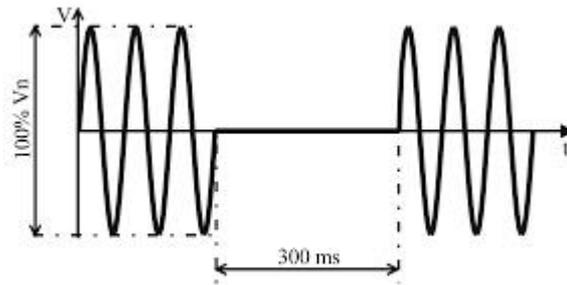
#### **Soluciones [11]:**

- Interruptor de cruce por cero
- Reactores o bobinas de choque de línea que amortiguan el transitorio oscilatorio a un nivel manejable
- Los sistemas UPS y MOV son muy eficaces para reducir los daños, así como Supresores de sobretensión transitoria

### 1.2.2.6.2. Interrupciones

Es la pérdida total de tensión o corriente durante un periodo determinado de tiempo. La duración de una interrupción puede ser instantánea, momentánea, temporal o sostenida. [11]

La Figura 4 muestra como se ve una interrupción, de un instante a otro el voltaje se reduce a 0 y luego de que la interrupción termina el voltaje regresa a su valor original.



*Figura 4.- Interrupción eléctrica*

En la Tabla 5 se detallan los rangos de duración para los tipos de interrupción

TIPO	DURACIÓN
Instantánea	0.5 a 30 ciclos
Momentánea	30 ciclos a 2 segundos
Temporal	2 segundos a 2 minutos
Sostenida	Mayor a 2 minutos

*Tabla 5.- Rangos de duración de interrupciones eléctricas [11]*

#### Causas [11]:

- Daño a la red de suministro eléctrico, como caídas de rayos, animales, árboles, accidentes vehiculares, condiciones atmosféricas destructivas.
- Falla de los equipos o disparo del disyuntor básico y/ conmutaciones.

En la mayoría de los casos la infraestructura de la red eléctrica está diseñada para compensar automáticamente muchos de estos problemas, no es infalible

#### Efectos [11]:

- Pérdida de información en equipos de cómputo.
- Paro de actividades en el sector comercial

### **Soluciones [11]:**

- Sistemas redundantes y el almacenamiento de energía.
- Sistemas de energía ininterrumpibles (UPS).
- Moto generadores

### **1.2.2.6.3. Subtensión**

Una subtensión es una reducción de tensión entre el 10% y 90% del voltaje nominal durante un 0,5 ciclo a 1 minuto. Generalmente son provocadas por fallas del sistema, cortocircuitos, sobrecargas y frecuentemente también son el resultado de encender cargas con altas demandas de corriente de arranque. [11]

Si una subtensión permanece constante, puede ser señal de una falla grave del equipo, de un problema de configuración, o de la necesidad de verificar el suministro de la red eléctrica. [11]

### **Causas [11]:**

- Encendido de cargas con altas demandas de corriente de arranque.
- Fallas en el sistema eléctrico.
- Cambios repentinos y bruscos de carga.
- Sobrecarga

### **Efectos [11]:**

- Los daños causados por subtensiones no son evidentes hasta que se observan los resultados en el tiempo (equipos y datos dañados, errores en el procesamiento industrial)
- Sobrecalentamiento de motores
- Parpadeo de luces
- Falla de cargas no lineales como fuentes de alimentación de computadoras

### Soluciones [11]:

- Sistemas de energía ininterrumpibles (UPS) con capacidad de regular tensión mediante el uso de un inversor antes de utilizar energía de batería
- Desconexión de los equipos electrónicos
- Protectores contra subtensiones

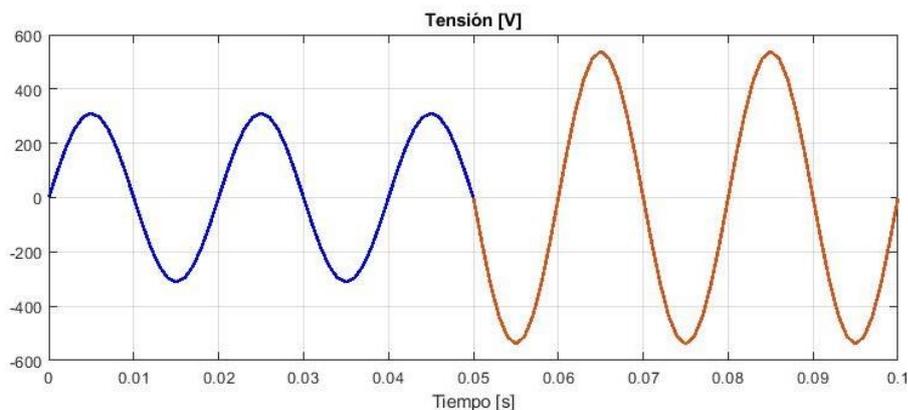
#### 1.2.2.6.4. Sobretensión

Las sobretensiones permanentes o temporales son aumentos de tensión por encima del 10% del voltaje nominal de la red de distribución que se mantienen durante décimas de segundo, minutos o de forma permanente. [12]

Las sobretensiones también son comunes en áreas donde los valores de referencia de los taps del transformador de suministro están mal configurados y se han reducido las cargas. Esto es común en lugares donde los consumidores reducen el uso de energía de manera repentina, pero la empresa sigue suministrando la misma capacidad de energía igual que cuando la demanda de esta era más alta de lo que actualmente es.

En la Figura 5 se puede observar una forma de onda cuando existe una sobretensión. La forma de onda de color rojo representa perfectamente una sobretensión.

Las sobretensiones pueden no ser evidentes hasta que se ven sus consecuencias y/o daños en los equipos electrónicos y electrodomésticos.



*Figura 5.- Sobretensión Eléctrica [13]*

### **Causas [11]:**

- Conexiones neutras de alta impedancia
- Reducciones repentinas de carga (especialmente de cargas grandes).
- Falla monofásica sobre un sistema trifásico.
- Defectos en los centros de transformación. [13]
- Descompensación de las fases o por rotura del conductor neutro en las redes de baja tensión (BT). [13]

### **Efectos [11]:**

- Sobrecalentamiento de equipos
- Parpadeo de luces
- Daño de los semiconductores de los equipos
- Degradación de aislamientos
- Reducción del tiempo de vida útil de los equipos

### **Soluciones [11]:**

- Sistemas de energía ininterrumpibles (UPS)
- Desconexión de los equipos electrónicos
- Protectores contra sobretensiones permanentes

#### **1.2.2.6.5. Distorsión de la forma de onda**

Los cinco tipos de distorsión de forma de onda son:

- **Desplazamiento por CC**

Se produce cuando existe una inducción de corriente continua (CC) en sistemas de distribución de CA, producto de fallas de rectificación. La CC se traspone en el sistema de suministro de CA, por lo cual se agrega corriente indeseada a dispositivos que ya están funcionando a su nivel nominal.

El efecto más notable es el sobrecalentamiento y/o saturación de los transformadores por la circulación de corrientes CC. Esto ocasionaría que el transformado no pueda entregar la potencia a la carga, y la

distorsión de forma de onda puede provocar una inestabilidad en los equipos.

- **Armónicas**

La distorsión armónica produce un cambio en la onda senoidal fundamental a frecuencias que son múltiplos de la fundamental.

Los transformadores, conductores neutros y otros equipos de distribución eléctrica sobrecalentados son producto de las armónicas. También disparo de disyuntores y la pérdida de sincronización en circuitos de sincrónicos que dependen de un disparador de onda senoidal limpia en un punto de cruce por cero.

- **Inter armónicas**

Provocadas por una señal sobrepuesta en la señal de tensión provenientes de equipos eléctricos como convertidores de frecuencia estáticos, motores de inducción y dispositivos de generación de arco.

El efecto más común es el parpadeo visual de monitores y luces incandescentes, seguido de un calentamiento e interferencia en dispositivos de comunicación comunicaciones.

- **Corte intermitente**

Perturbación de la tensión provocada por dispositivos electrónicos utilizados para control de velocidad variable, atenuación de luz y soldadores por arco. En los casos más extremos causan interrumpen y paran totalmente el sistema donde se encuentran estos equipos, pérdidas de datos y la interrpcion de transmisión de datos.

Para solucionar este problema lo mejor es trasladar la carga lejos del equipo que causa el problema. Los UPS y/o los equipos de filtrado se pueden considerar como las soluciones más viables para los en caso de cortes intermitentes, en caso de que el equipo puede ser mover a otro lugar.

- **Ruido**

Es considerada como una tensión indeseada o corriente sobrepuesta en la tensión dentro de los sistemas de energía eléctrica o forma de onda de la corriente. Es producido por dispositivos electrónicos alimentados eléctricamente, circuitos de control, soldadores por arco, fuentes de alimentación para conexiones, transmisores radiales, etc. Produce principalmente errores en equipos de datos, falla de componentes de largo plazo, fallas en discos duro, y monitores con video distorsionado.

#### **1.2.2.6.6. Fluctuación de tensión**

Variación sistemática en la forma de onda de tensión o una serie de cambios aleatorios de tensión, de pequeñas dimensiones generalmente 95 y 105% del valor nominal a frecuencias por debajo de 25 Hz.

##### **Causas [11]:**

- Los hornos de arco son la causa más común de fluctuación de tensión en el sistema de transmisión y distribución.
- Funcionamiento intermitente de los equipos de carga.

##### **Efectos [11]:**

- Un síntoma de este problema es el parpadeo de luces incandescentes.

##### **Soluciones [11]:**

- Reconfigurar la distribución.
- Trasladar las cargas sensibles a sitios aislados.
- Utilizar acondicionadores de energía y/o UPS

#### **1.2.2.6.7. Variaciones de Frecuencia**

Se producen en lugares donde existen generadores dedicados de reserva o una infraestructura pobre de alimentación. La variación de la frecuencia se produce especialmente si el generador se encuentra cargado por encima de su límite. Es recomendable la actualización del regulador del generador. [11]

### 1.2.2.7. Comparación entre los problemas en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje

PERTURBACIÓN		CAUSAS	EFECTOS	SOLUCIONES
Transitorios	Impulsiva	Rayos ESD Cargas inductivas Liberación de fallas de la red	Pérdida de datos Daños y destrucción de equipos	TVSS Protectores contra transitorios
	Oscilatoria	Conmutación de cargas inductivas/capacitivas	Daños y destrucción de equipos	TVSS, UPS, Reactores/bobinas de choque Interruptor de cruce por cero
Interrupciones		Desastres naturales Disparo de disyuntores Fallas de componentes	Pérdida de datos Para de actividades en el sector comercial	Sistemas redundantes UPS Moto generadores
Subtensión		Fallas en la red Cambios de carga Sobrecarga	Sobrecalentamiento Fallas en cargas no lineales Parpadeo de luces	UPS Desconexión de los equipos electrónicos
Sobretensión		Desconexión repentina de cargas Defectos en centros de transformación Descompensación de fase	Sobrecalentamiento Parpadeo de luces Daños en equipos Degradación de aislamientos	Protectores contra sobretensiones UPS Desconexión de los equipos electrónicos
Distorsión de la forma de onda	Desplazamiento por CC	Rectificadores Fuentes de alimentación defectuosos	Transformadores Calentados Corriente por falla de masa Disparo por interferencia	Encontrar el problema y reemplazar el equipo defectuoso
	Armónicas	Cargas electrónicas (cargas no lineales)	Transformadores calentados, paro del sistema	Reconfigurar la distribución, instalar transformadores de factor k, usar fuentes conmutadas con PFC

	<b>Interarmónicas</b>	Señales de control, equipos defectuosos, ciclo convertidores, convertidores de frecuencia, motores de inducción, dispositivos de generación de arco	Parpadeo de la luz, calentamiento, interferencia de la comunicación	Acondicionador de energía, filtros, UPS
	<b>Corte intermitente</b>	Mecanismos de velocidad variable, soldadores con arco, atenuadores de luz	Paro del sistema, pérdida de datos	Reconfigurar la distribución, trasladar las cargas sensibles, instalar filtros, UPS
	<b>Ruido</b>	Transmisores (radio), equipos defectuosos, masa ineficiente, proximidad a fuente EMI/RFI	Detención del sistema, pérdida de datos	Quitar transmisores, reconfigurar puesta a tierra, alejarse de la fuente EMI/RFI, aumentar el blindaje, filtros, transformador de aislamiento
	<b>Fluctuaciones de tensión</b>	Hornos de arco Funcionamiento intermitente de los equipos de carga	Paro del sistema, parpadeo de luces	Reconfigurar la distribución, trasladar las cargas sensibles, acondicionador de energía, UPS
	<b>Variaciones de frecuencia</b>	Generadores de reserva regulados en forma ineficiente	Falla en equipo sincrónico	Actualizar el regulador del generador

**Tabla 6.-** Tabla comparativa de las perturbaciones eléctricas

**Elaborado por:** El investigador

#### **1.2.2.8. Tolerancia de equipos electrónicos a sobretensiones y subtensiones**

La mayoría de los electrodomésticos son fabricados con una tolerancia de  $\pm 9/10\%$  de la tensión normal de la alimentación eléctrica. Los principales electrodomésticos afectados por sobretensiones y subtensiones son los de alto consumo energético como microondas, refrigeradores y lavadoras. [14]

#### **1.2.2.9. Dispositivos de protección contra sobretensiones**

Este tipo de dispositivo tiene una tolerancia, de modo que permiten una subida de tensión moderada, pero si pasa de ese margen, salta para proteger el interior de la vivienda y así evitar que se estropeen los aparatos eléctricos conectados a la línea. [15]

Los protectores contra sobretensiones permanentes son dispositivos que ayudan a mantener las instalaciones y los equipos a salvo, desconectando a tiempo la alimentación eléctrica mediante un dispositivo de corte. [12]

##### **1.2.2.9.1. Protector contra sobretensiones permanentes (POP)**

Este dispositivo tiene una tolerancia que permite una subida de tensión moderada, pero si pasa de ese margen, salta para proteger el interior de la vivienda y así evitar que se estropeen los aparatos eléctricos conectados a la línea. Dependiendo del tipo de protector y del fabricante se pueden encontrar protectores con reconexión automática. [15]

Detectan las fluctuaciones y/o aumentos de voltaje de la red eléctrica que superan el umbral establecido. Ante estos eventos el protector desconecta automáticamente las instalaciones de la red eléctrica para evitar que los equipos electrónicos sean expuestos a estos aumentos de voltaje, a través de interruptores o elementos de corte magnetotérmicos. Cuentan con un sistema basado en interruptores generales automáticos (IGA) usados como protección contra sobrecargas y cortocircuitos, acompañados de reconexión automática una vez que la tensión está por debajo del umbral. [16]

De acuerdo con la normativa internacional IEC 63052:2019, que regula los requisitos de calidad, seguridad y compatibilidad electromagnética de los dispositivos de protección contra sobretensiones permanentes o temporales,

también conocidos por su acrónimo en inglés POP (Power Overvoltage Protectors). [12]

Esta norma dispone los siguientes 4 tipos de protectores [12]:

- Protector POP ensamblado por el fabricante con el dispositivo de protección principal (MPD) conocido como IGA.
- Protector POP con elemento de disparo (RU), acoplado mecánicamente durante su instalación al dispositivo de protección principal (MPD).
- Protector POP con elemento de disparo (RU), conectado al dispositivo de protección principal (MPD).
- Protector POP con elemento de corte.

Estos tipos de protectores deben funcionar para frecuencias de 50/60 Hz, una tensión nominal no mayor a 230 VAC y una corriente nominal que no supere los 63 A.

#### **1.2.2.9.2. Protector contra transitorios/sobretensiones transitorias (SPD)**

La finalidad de este tipo de protectores es regular y/o gestionar las subidas de voltaje en el orden de los KV bloqueando o enviando a tierra los voltajes que superar el umbral seguro.

De acuerdo con la norma IEC 60364-4-443 los protectores contra transitorios o sobretensiones transitorias se dividen en 3 tipos, de acuerdo con su nivel de protección y ubicación de instalación. [17]

Este tipo de protectores se utilizan en el sector industrial, comercial y 10/350/o edificios residenciales con muchos pisos.

##### **Protector Tipo I**

Protección contra sobretensiones y altas corrientes provocadas por descargas de rayos directos o indirectos. El rango del nivel de protección ( $U_p$ ) está entre los 2.5 a 4 kV. Se colocan en armarios de distribución de energía principal. [17]

Este tipo de protectores tienen la capacidad de bloquear o desviar ondas de energía de 10/350  $\mu$ s producidas por el impacto directo de un rayo.

## Protector Tipo II

Utilizado para sobretensiones provocadas por operaciones de conmutación eléctrica, que generalmente se utilizan para protección de fuentes de alimentación. Su rango de nivel de protección ( $U_p$ ) está entre 1.5 a 2.5 kV. Se instalan en sub-tableros de distribución. [17]

Bloquean o desvían ondas de energía de 8/20  $\mu$ s que corresponden a una inducción o conducción de un rayo, con una respuesta media/alta.

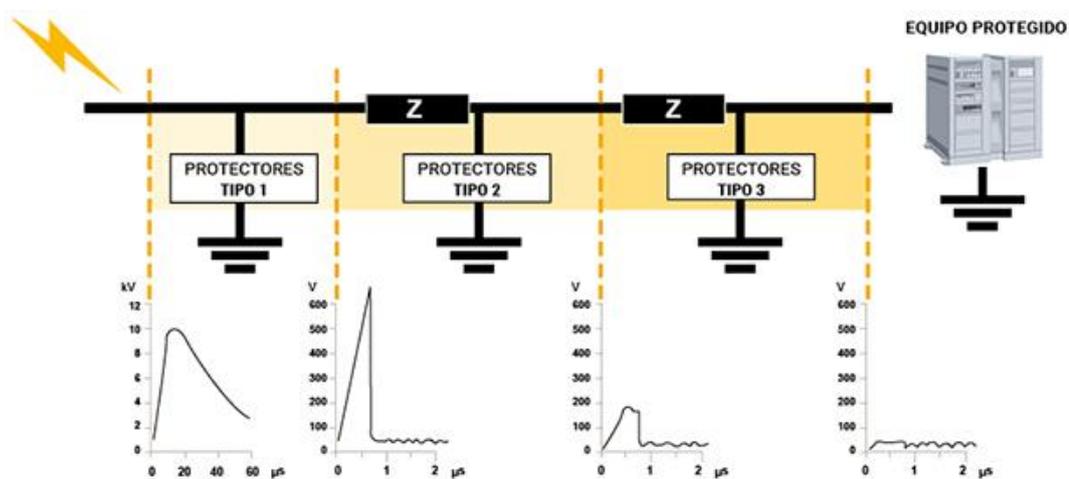
## Protector Tipo III

Protección para cargas eléctricas y equipos terminales sensibles y su rango de nivel de protección ( $U_p$ ) es menor a 1.5 kV. Su respuesta es muy alta [17]

## Protección escalonada o en cascada

Generalmente estos 3 tipos de protectores se utilizan en conjunto como protección escalonada o en cascada. El protector de tipo I garantiza la descarga o drenado del exceso de corriente producto del impacto de un rayo, pero es un dispositivo lento que deja una tensión residual elevada que es frenada por el protector de tipo II seguido de un protector de tipo III para protección contra tensiones residuales que dejan pasar los protectores de tipo II. [18]

La Figura 6 detalla la conexión de un sistema de protección escalona contra transitorios



*Figura 6.- Reducción de sobretensiones transitorias mediante una protección escalonada [18]*

### **1.2.2.9.3. Protectores Breakermatic**

Son dispositivos de protección contra sobretensiones, subtensiones y aumentos de corriente. Están diseñados para electrodomésticos y equipos electrónicos como:

- Refrigeradores
- Lavadoras
- Microondas
- Licuadoras
- Cafeteras
- Televisores
- Equipos de audio
- Computadoras

Se destacan por su fácil instalación y uso, debido a que solo se lo debe colocar entre el tomacorriente y el electrodoméstico. Los voltajes nominales que manejan son 110/120 V y 208/220 V.

Dependiendo del equipo o electrodoméstico y su voltaje nominal se debe hacer la selección del dispositivo [19]

### **1.2.2.9.4. Protección Combinada**

En el mercado existen un sinnúmero de fabricantes de protectores contra sobretensiones que combinan IGA, protección contra sobretensiones, protección contra transitorios y reconexión manual o automática.

Los principales tipos de protectores contra sobretensión son [20]:

- Protección combinada de IGA + sobretensión permanente.
- Protección combinada de IGA + sobretensión con reconexión automática.
- Protección combinada de IGA + sobretensión permanente + sobretensión transitoria
- Protección combinada de sobretensión permanente + sobretensión transitoria con reconexión automática.

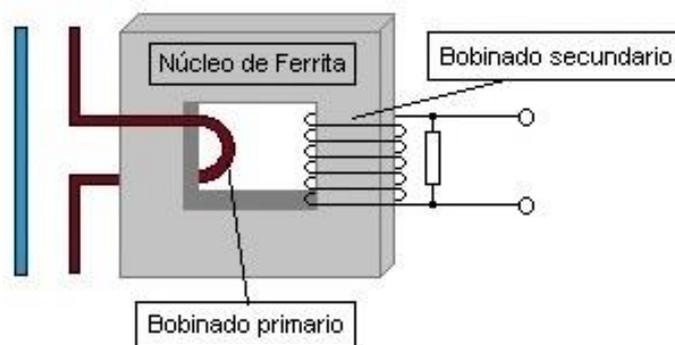
- Protección de sobretensión permanente y subtensión con reconexión automática.

### 1.2.2.10. Elementos electrónicos para mediciones eléctricas en CA

#### Medidores de corriente alterna no invasivos

Son sensores que funcionan como transformadores que internamente tienen un devanado secundario que pueden tener hasta más de 2000 espiras, mientras que el cable por el que circula una corriente y donde se realiza la medición actúa como el devanado primario que tiene 1 espira. La cantidad de espiras está estrechamente ligada con la relación entre corriente que circula por el cable y la que el sensor entrega, adicionalmente pueden tener una resistencia de carga en la salida de esta forma en lugar de corriente se trabaja con una salida voltaje. A este tipo de sensores se los conoce como Sensores CT (Current transformers). [21]

En la Figura 7 se puede observar cada uno de los elementos que componen un sensor de corriente alterna no invasivo.



**Figura 7.-** Estructura de un medidor/sensor de corriente alterna no invasivo [21]

#### Medidores de voltaje para Corriente Alterna

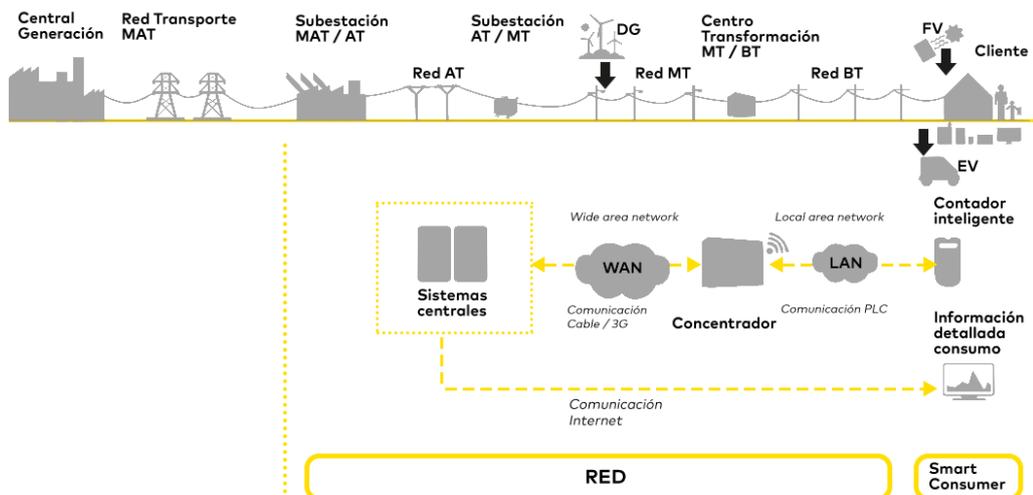
Son sensores que cuentan con un transformador con aislamiento galvánico. El lado primario del transformador se conecta al voltaje alterno a medir y en el lado secundario del transformador se encuentra un divisor de tensión y un circuito con amplificador operacional para adicionar un desplazamiento (offset) a la salida analógica. La onda senoidal de salida está desplazada

positivamente para que la onda no tenga voltajes negativos y así poder leer la onda completamente con un microcontrolador. [22]

### 1.2.2.11. Sistema de Telegestión

De acuerdo con la Figura 8, estos sistemas de medida están dotado de comunicación bidireccional, entre un ordenador central y una red formada por analizadores, medidores de calidad y contadores de energía que también incluyen elementos de maniobra controlables remotamente. Este sistema debe permitir, con las máximas garantías de integridad y seguridad, el control y protección remota y automática, mediante la conexión/desconexión de ciertos actuadores. [23]

La comunicación de datos y órdenes se realiza mediante tecnología PLC (Power Line Communications) usando el protocolo PRIME. Es decir, a través de la propia Línea de Baja Tensión de la distribuidora eléctrica se comunican con los dispositivos de medición eléctrica con el concentrador situado en el Centro de Transformación más próximo, y éste comunica con los sistemas centrales de la compañía por cable o por Red 3G. [24]



**Figura 8.-** Sistema de telegestión para medición de consumo eléctrico en residencias [24]

### 1.2.2.12. Infraestructura de medición avanzada (AMI)

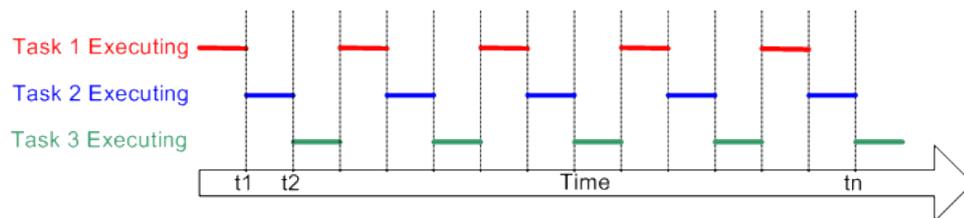
Comprende la infraestructura desde el medidor inteligente hasta una red de comunicación bidireccional que permite controlar el equipo del centro y todas las aplicaciones que permiten la recopilación y transferencia de información sobre el uso de energía casi en tiempo real. AMI permite las comunicaciones bidireccionales con clientes, convirtiéndose en el cerebro de la red inteligente. Los objetivos de AMI pueden ser la lectura remota de contadores de datos sin errores, la identificación de problemas de red, el perfil de carga, la auditoría energética y la reducción parcial de la carga en lugar de la reducción de carga. [25]

### 1.2.2.13. Sistemas Operativos en tiempo real (RTOS)

Un sistema operativo en tiempo real es un componente de software que permite la multitarea, es decir el intercambio rápido entre procesos dando la impresión de una ejecución de tareas simultaneas utilizando un solo núcleo de procesamiento.

Para dar la impresión de una ejecución simultanea el RTOS asigna un tiempo de ejecución a cada una de las tareas, de modo que las tareas se van ejecutando una a continuación de otra en el tiempo asignado, que normalmente son milisegundos o microsegundos. [26]

En la Figura 9 se puede observar la ejecución de 3 tareas con RTOS, donde se les asigna un tiempo determinado de ejecución para cada una de ellas.



**Figura 9.-** Funcionamiento de la multitarea en un RTOS [27]

## **FreeRTOS**

Es un tipo de RTOS que está diseñado para ejecutarse en microcontroladores, ya que debido a su pequeño tamaño y recursos limitados no puede ejecutar RTOS que requieren de demasiados recursos. [28]

FreeRTOS proporciona las funcionalidades principales de programación en tiempo real, comunicación y sincronización de tareas. [28]

### **1.2.2.14. Amazon Web Services**

Es una plataforma de herramientas y servicios basados en la nube, con más de 117 servicios que incluyen recursos de cómputo, almacenamiento, base de datos, redes, entre otros. Cuenta con 84 zonas de disponibilidad en 26 regiones distribuidas alrededor de todo el mundo. Cada región y zonas de disponibilidad son ubicaciones físicas donde se encuentran los centros de datos, infraestructura de cómputo y red, que utilizan los usuarios a través de un interfaz web. AWS se encarga de la administración, configuración y mantenimiento de los equipos y recursos de los cuales los usuarios hacen uso. [29]

#### **Amazon Elastic Container Service (Amazon ECS)**

Amazon ECS es un servicio de alta escalabilidad para la administración de contenedores Docker mediante clusters. Este servicio hace uso de instancias EC2 bajo demanda para el despliegue de los contenedores. [30]

### **1.2.2.15. Flutter**

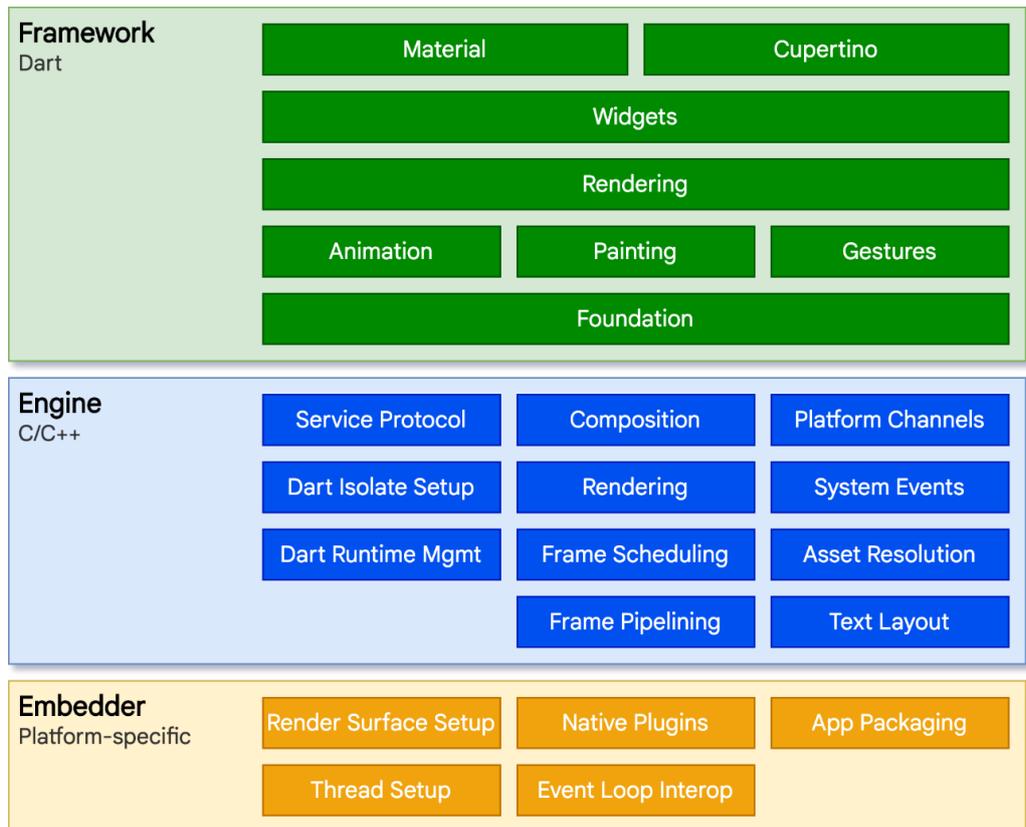
Flutter es un SDK (Kit de desarrollo de software) de código abierto desarrollado por GOOGLE para desarrollar aplicaciones móviles Android y iOS, aplicaciones Web, Embebidas y de escritorio. El motor de Flutter está escrito en C++ y hace uso del lenguaje de programación Dart para la programación de las aplicaciones. El desarrollo de las aplicaciones se basa en objetos temporales que tienen diferentes ciclos de vida, llamados Widgets. [31]

Las ventajas más destacables del SDK son [31]:

- Velocidad de desarrollo en comparación a desarrollo nativo.
- Compilación multiplataforma a partir de un mismo código (Android, iOS, Google Fuchsia, Navegadores Web, Linux, macOS y Windows).
- Renderización nativa de interfaces.

De acuerdo con la Figura 10, la arquitectura de capas del Framework Flutter, está compuesto de:

- El Framework que está escrito en Dart, que provee la capacidad de la creación de las interfaces y la lógica de una aplicación.
- El motor está escrito en C/C++ que permite la compilación, manejo de protocolos, renderización, eventos e integración con el sistema operativo en el que se está trabajando.
- El Embedder que tiene la función de interacción con componentes nativos de cada sistema operativo y compilación de la aplicación para cada una de las plataformas compatibles con Flutter,

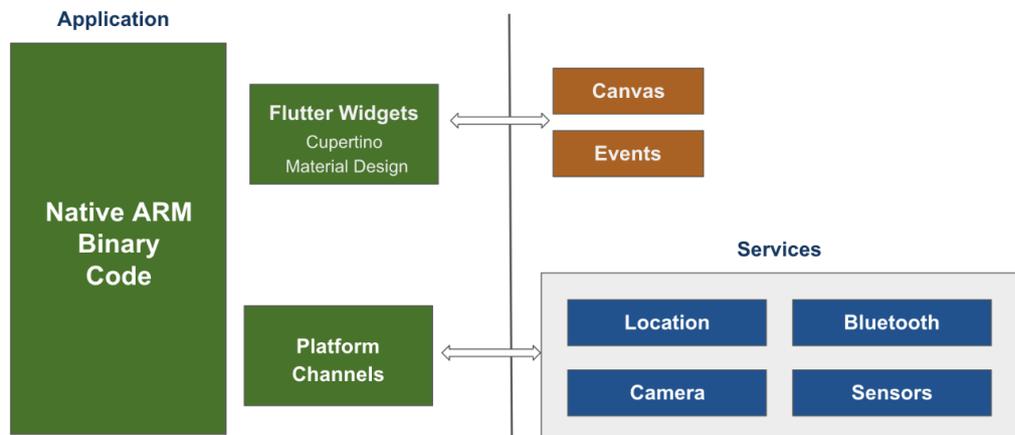


**Figura 10.-** Arquitectura de capas de Flutter [32]

## Enfoque de Flutter para desarrollo de aplicaciones móviles Android y iOS

En la Figura 11 se puede observar cómo Flutter obtiene acceso nativo a los sensores, cámara y demás elementos de un teléfono móvil. Para lograr este acceso Flutter crea automáticamente canales o puentes que permiten el manejo de sensores y demás elementos de un teléfono móvil, pero con un rendimiento menor en comparación a aplicaciones nativas. [33]

En cuanto a interfaces se trabajan a través de los widgets para crear Canvas y Eventos que permiten dibujar las interfaces y detectar los gestos de la pantalla. [33]



*Figura 11.- Enfoque de Flutter para desarrollo de aplicaciones móviles Android y iOS [33]*

### 1.2.2.16. GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS es un protocolo de comunicaciones de conmutación de paquetes de mejor esfuerzo para redes celulares. Esta tecnología les permite a dispositivos móviles admitir funciones de datos a través de conexiones de Internet celular, permitir correos electrónicos y navegación web simple, aunque a velocidades mucho más lenta [34]

La principal diferencia entre GSM y GPRS es que GSM es un sistema de conmutación de circuitos, mientras que GPRS es un sistema de conmutación de paquetes. [34]

GPRS permite la transmisión de datos a una velocidad teórica de 120 kbps y por lo general la velocidad real se encuentra entre 20 y 50 kbps, con una latencia de 0.5 a 1 segundo. [35]

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema de telegestión de protección contra sobretensiones eléctricas residenciales.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las perturbaciones eléctricas presentes en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje que afectan a los equipos y sistemas domésticos.
- Analizar los dispositivos de protección contra sobretensiones para los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos de una residencia.
- Diseñar un sistema de control y monitoreo remoto basado en hardware y software libre.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. MATERIALES**

En la implementación del proyecto de investigación se utilizaron artículos, tesis, libros relacionados con sistemas de protección contra tensiones eléctrica en domicilios.

Para la programación de la placa electrónica ESP32 y la aplicación móvil se utilizó la documentación web de cada uno de lenguajes de programación empleados.

Las fichas técnicas (Datasheets) de cada componente, sensor y placa electrónica también fueron de vital importancia para su correcta utilización.

#### **2.2. MÉTODOS**

##### **2.2.1. Modalidad de la Investigación**

###### **Investigación Aplicada**

En el presente proyecto se empleó la investigación aplicada, porque se puso en práctica conocimientos de Electrónica, Electricidad y Programación, adquiridos durante la formación académica.

###### **Investigación Bibliográfica**

Se realizó revisión bibliográfica de libros, artículos científicos y proyectos de investigación en los diferentes repositorios digitales mundiales y nacionales, relacionados con el tema de investigación.

###### **Investigación Experimental**

Durante el desarrollo del proyecto de investigación se realizaron ciertas actividades para la medición y adquisición de datos de ciertas magnitudes eléctricas, para el control y protección mediante actuadores.

### **Población y Muestra**

El presente trabajo de investigación no requirió de población y muestra, debido a que solo se realizó un equipo y no se lo aplico a un grupo de residencias.

### **Recolección de Información**

Artículos científicos y proyectos de investigación previos, fueron la principal fuente de información, además de documentos nacionales sobre el estado del sistema eléctrico del Ecuador y documentos de fabricantes de componentes o sistemas de protección contra sobretensiones que ayudaron a determinar las perturbaciones eléctricas presentes en las redes de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje y las medidas de protección respectivas.

### **Procesamiento y Análisis de datos**

El procesamiento y análisis de datos se efectuó de acuerdo con los siguientes pasos:

- Análisis de la información recolectada en fuentes bibliográficas.
- Determinar los problemas y perturbaciones presentes en el sistema de suministro eléctrico.
- Determinar los dispositivos utilizados para protección de hogares contra variaciones de voltaje y corriente.

### **Desarrollo del Proyecto**

Para el desarrollo del proyecto se realizaron las siguientes actividades:

- a. Análisis y comparación de las perturbaciones eléctricas presentes en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje.
- b. Identificación de los daños más comunes en los equipos y sistemas domésticos por perturbaciones eléctricas.
- c. Análisis y comparación de los dispositivos de protección contra sobretensiones para equipos y sistemas eléctricos y electrónicos de una residencia.
- d. Investigación de elementos electrónicos para mediciones eléctrica en CA, mediante microcontroladores.

- e. Diseño de un sistema para mediciones eléctricas en Corriente Alterna.
- f. Diseño de un sistema para el control del suministro de electricidad en un hogar.
- g. Desarrollo de una aplicación móvil para monitoreo y telegestión.
- h. Diseño de placas PCB.
- i. Diseño de una estructura física para el montaje.
- j. Ensamblado del prototipo.
- k. Pruebas de funcionamiento.
- l. Identificación y corrección de errores.
- m. Elaboración del informe final.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

##### 3.1.1. Análisis de la investigación

###### **Perturbaciones eléctricas presentes en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje**

De acuerdo con la Tabla 6 donde se analizan las principales perturbaciones eléctricas presentes en la red de distribución eléctrica, así como sus causas y efectos en los equipos electrónicos. Entre las perturbaciones se destacan las sobretensiones las cuales son las más comunes en el sector residencial debido a problemas en centros de transformación o transformadores de última milla o desconexión repentinas de cargas de alto. Las sobretensiones pueden causar daños en semiconductores, sobrecalentamiento de equipos electrónicos, degradación de aislamientos e incluso la destrucción completa de equipos electrónicos y electrodomésticos.

En Ecuador las perturbaciones más comunes y frecuentes son las sobretensiones, subtensiones e interrupciones. Según el informe de actividades y gestión de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCONEL), 2019 fue el año donde se recibió más notificaciones y solicitudes de reclamos por daños en equipos electrónicos por parte de empresas, Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo (GYE), LRS, Empresa Eléctrica Galápagos, Empresa Eléctrica Quito y un sinnúmero de consumidores residenciales, a causa de estas perturbaciones. [6]

Mientras que en el 2020 se tuvo un promedio de 5.88 horas de desconexión de demanda por fallas o mantenimientos; con respecto al 2019 hubo un aumento de 0.52 horas. [8].

## Dispositivos de protección contra sobretensiones

Como soluciones o medidas precautelares es importante que una residencia cuente con dispositivos especializados para la protección contra sobretensiones, subtensiones y aumentos de corriente.

La norma internacional IEC 63052:2019, especifica los requisitos de calidad, seguridad y compatibilidad electromagnética de los dispositivos de protección contra sobretensiones. Cada fabricante desarrolla sus propias gamas de productos con diferentes características siempre y cuando se cumpla lo especificado en la esta norma. La norma no aplica para protectores contra transitorios.

Los protectores contra sobretensiones no son los únicos, también existen protectores contra transitorios que se detallan en la Tabla 7. Existen 3 tipos de estos protectores con diferentes propósitos y rangos de protección.

	<b>Descripción</b>	<b>Rango de protección</b>
<b>Protector Tipo I</b>	Protección contra sobretensiones y altas corrientes provocadas por descargas de rayos directos o indirectos	2.5 a 4 kV
<b>Protector Tipo II</b>	Protección para sobretensiones provocadas por operaciones de conmutación eléctrica	1.5 a 2.5 kV
<b>Protector Tipo III</b>	Protección para cargas eléctricas y equipos terminales sensibles	menor a 1.5 kV

*Tabla 7.- Características de protectores contra transitorios*

*Elaborado por: El investigador*

La principal diferencia entre los protectores contra transitorios con los de sobretensiones es la forma de protección. El protector contra transitorios generalmente se encarga de desviar la tensión que generalmente se encuentra en el orden de los KV hacia tierra, pero por lo general no se desvía todo el voltaje por lo cual se requiere una instalación en cascada con diferentes tipos de protectores SPD. Por otro lado, un protector contra sobretensiones se encarga de cortar el suministro hacia la carga para evitar los daños por una exposición prolongada.

La Tabla 8 muestra una comparación de las características de cada uno de los diferentes tipos de protecciones.

	<b>Breakermatic</b>	<b>POP</b>	<b>Combinados</b>	<b>SPD</b>
<b>Reconexión automática</b>	SI	NO	SI	NO
<b>Protección</b>	Sobretensiones Subtensiones Aumentos de corriente	Sobretensiones Aumentos de corriente	Sobretensiones Subtensiones Aumentos de corriente	Transitorios
<b>Tipo de protección</b>	Por corte	Por corte	Por corte	Bloqueo o desvío
<b>Actuador</b>	Relé seco	Magnético	Magnético	Varistor

*Tabla 8.- Comparación de los tipos de protectores contra sobretensiones-transitorios*

*Elaborado por: El investigador*

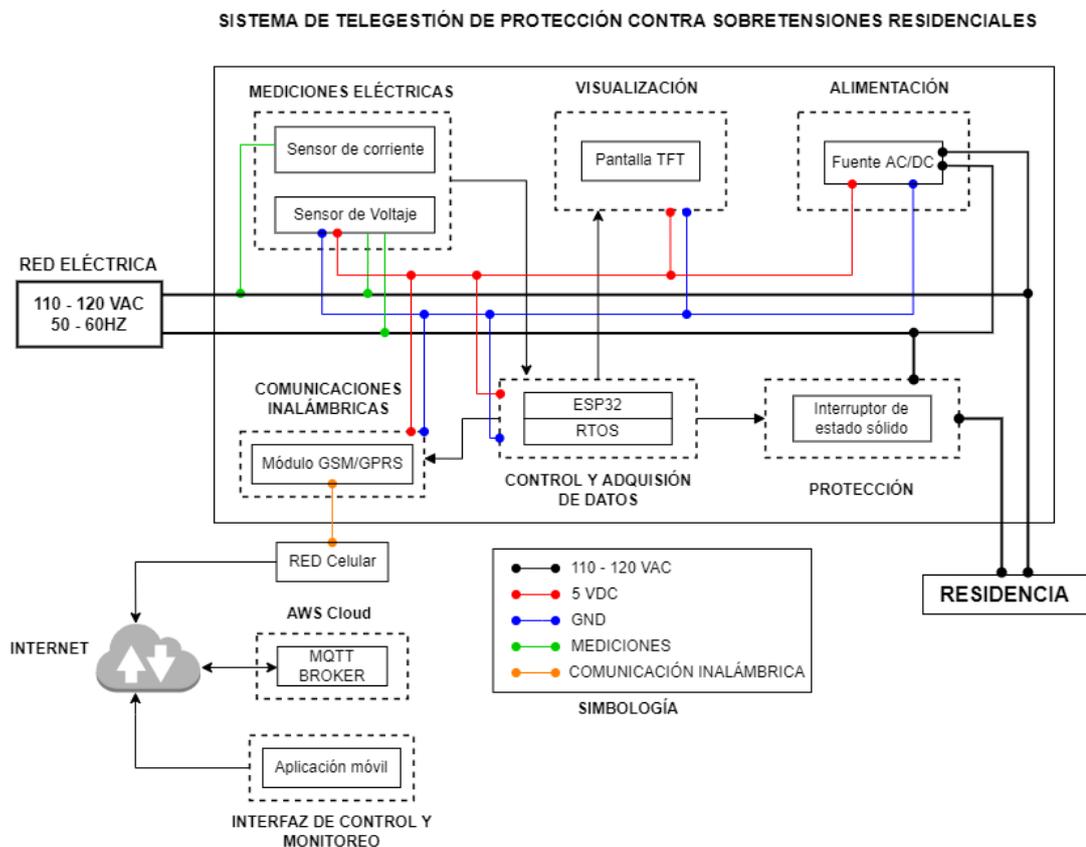
### **Sistema de control y monitoreo remoto**

Basado en el estudio de las perturbaciones eléctricas que se realizó, se propone un dispositivo para protección contra sobretensiones, subtensiones y aumentos de corriente

En la Figura 12 se detalla el diagrama de bloques del sistema de telegestión de protección contra sobretensión que consta de las siguientes etapas:

- **Alimentación:** Este sistema consta de una fuente AC/DC que alimenta a todos los componentes electrónicos del dispositivo. Esta fuente cuenta con protección contra sobretensiones, sobrecargas y cortocircuitos, lo que mantendrá el equipo funcionando cuando el dispositivo entre en acción y corte el suministro de energía de la residencia como medida de protección frente a sobretensiones eléctricas.
- **Control y adquisición de datos:** Para adquisición de datos de sensores y control de ciertos componentes y dispositivos se utiliza una tarjeta ESP32 Dual Core. Para una mejor eficiencia se utilizó el RTOS propio del ESP32 para programación de multitareas utilizando los dos núcleos del microcontrolador.

- **Mediciones Eléctricas:** Este sistema es la parte más esencial del dispositivo ya que permite la detección de fluctuación de voltaje y corriente mediante un sensor de corriente y un sensor de voltaje.
- **Visualización:** El estado del dispositivo y las mediciones de corriente y voltaje se observan en una pantalla TFT.
- **Protección:** Consta de un interruptor de estado sólido que soporta una corriente de carga de 200 A.
- **Comunicaciones inalámbricas:** Para un monitoreo y control remoto se utilizó un módulo GSM/GPRS para enviar los datos hacia un bróker MQTT desplegado en Amazon Web Services. De este modo se observan todos los datos en una aplicación móvil, desde cualquier parte del mundo.



*Figura 12.- Diagrama de bloques del sistema de telegestión de protección contra sobretensiones*

- **Aplicación móvil:** La aplicación móvil permite el monitoreo remoto del voltaje y corriente que está midiendo el prototipo. Además, el control remoto del actuador para cortar o habilitar el suministro de energía eléctrica hacia la residencia o una carga en específico de forma manual y como elemento indispensable alertas mediante notificaciones móviles desde la aplicación cuando el dispositivo se apague por un corte de energía, cuando no hay envío de datos hacia el Broker, sobretensiones, subtensiones y aumentos de corriente.

### 3.1.2. Desarrollo de la propuesta

#### 3.1.2.1. Selección del sensor de corriente

Para la medición de corriente se pueden recurrir a sensores basados en transformadores y efecto hall, por lo cual se han analizados 3 sensores detallados en la Tabla 9 para determinar el más adecuado.

	SCT-013-000	ACS714	SCT-019-000
<b>Alimentación</b>	-	4.5 – 5.5 VDC	-
<b>Corriente de entrada</b>	0 a 100 A	-30 a 30 A	0 – 200 A Max. 300A
<b>Salida</b>	0 – 1 VDC	0 – 5 VDC	0 – 0.333 V
<b>Sensibilidad</b>	$\pm 1 \%$	$\pm 1.5 \%$	$\pm 0.5 \%$
<b>Método</b>	Transformador	Efecto Hall	Transformador
<b>Imagen</b>			
<b>Precio</b>	\$13	\$8	\$30

*Tabla 9.- Tabla comparativa de los sensores de corriente [21], [36], [37]*

*Elaborado por: El investigador*

De acuerdo con el análisis realizado en base a la Tabla 9, el sensor más adecuado es el SCT-019-000 debido a su amplio rango de medición de 0 – 200 A y por ser un sensor no invasivo con una forma de broche lo que facilita la medición. Proporciona una señal de salida de 0.333 V, la cual se puede amplificar mediante una etapa de acondicionamiento para que se pueda leer fácilmente por un microcontrolador.

### 3.1.2.2. Selección del sensor de voltaje

Para medir el voltaje de la red eléctrica es necesario la utilización de un sensor especializado para la medición de voltaje en corriente alterna que proporcione un voltaje de salida en corriente continua que sea medido por cualquier microcontrolador. El rango de voltaje del sensor debe ser amplio de modo que permita detectar el aumento de voltaje que supere un determinado umbral.

	<b>FZ0430</b>	<b>ZMPT101B</b>
<b>Alimentación</b>	3.3 – 5 VDC	3.3V – 5 VDC
<b>Voltaje de entrada</b>	24,41mV – 25 VDC	250 VAC máx.
<b>Voltaje de salida</b>	5 VDC	5 VAC
<b>Sensibilidad</b>	$\pm 1.5 \%$	$\pm 1 \%$
<b>Frecuencia</b>	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz
<b>Imagen</b>		
<b>Precio</b>		

*Tabla 10.- Tabla comparativa de sensores de voltaje [22], [38]*

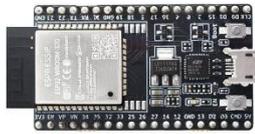
*Elaborado por: El investigador*

Tras el análisis de los sensores en la Tabla 10 se ha elegido el sensor ZMPT101B debido a su amplio rango que llega hasta los 250 VAC. Proporciona una onda senoidal de salida que está desplazada positivamente para que la onda no tenga voltajes negativos y así poder leer la onda completamente con un ADC. [22]

### 3.1.2.3. Selección del dispositivo de comunicación inalámbrica

Un dispositivo de comunicaciones inalámbricas permitirá el envío de datos de forma inalámbrica hacia un Broker MQTT, para que posteriormente se adquiera esos datos en una aplicación móvil, en cualquier parte.

	<b>ESP32</b>	<b>HM-10</b>	<b>SIM800L</b>
<b>Alimentación</b>	5 VDC	5 VDC	3.3 – 4.3 VDC
<b>Tecnología</b>	WI-FI/BLE	Bluetooth 4.0 BLE	GSM/GPRS
<b>Alcance</b>	1km max. (soft-AP)	100 m	-

Dependencia	Independiente o Red WIFI	-	Red 2G
Banda de Frecuencia	2.4 ~ 2.5 GHz	2.4 GHz ISM	Quad Band (850/950/1800/1900 MHz)
Imagen			
Precio	\$13	\$12	\$10

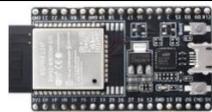
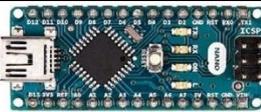
**Tabla 11.-** Tabla comparativa de sensores de comunicación inalámbrica [39], [40], [41]

*Elaborado por: El investigador*

Tras analizar cada uno de los módulos descritos en la Tabla 11 se ha elegido el módulo GSM/GPRS debido a que puede conectarse a cualquier red 2G de un operador móvil y de esta forma enviar y recibir datos por GPRS utilizando protocolos TCP/IP, HTTP, PPP y UDP.

### 3.1.2.4. Selección de la placa controladora

La placa controladora permitirá la adquisición de datos de los diferentes sensores como el control de actuador y del módulo de comunicaciones inalámbricas, por lo tanto, se analizan a continuación las siguientes placas controladoras.

	ESP32	ARDUINO MEGA	ARDUINO NANO
Alimentación	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Frec. de reloj	240 Mhz	16 Mhz	16 Mhz
Memoria Flash	4 Mb	256 Kb	32 Kb
SRAM	520 Kb	8 Kb	2 Kb
RTOS	SI	SI	SI
Núcleos	2	1	1
I/O digitales	31	54	22
Entradas analógicas	20	16	8
Imagen			
Precio	\$12	\$23	\$10

**Tabla 12.-** Tabla comparativa de placas controladoras [39], [42], [43]

*Elaborado por: El investigador*

Una vez que se compararon y analizaron las especificaciones técnicas de las placas controladoras de la Tabla 12, se eligió el ESP32 como el controlador por su tamaño compacto y por ser superior al resto de placas ya que cuenta con dos núcleos permitiendo ejecutar procesos de forma paralela y mucho más rápidas. Además, su capacidad de memoria flash es superior al resto de placas permitiendo almacenar más código en memoria.

### 3.1.2.5. Selección del actuador de estado sólido

Para cortar el suministro eléctrico de una residencia frente a sobretensiones, es necesario tener un actuador de estado sólido. En la siguiente tabla se analizan dos relés de estado sólido, para determinar el más adecuado para el propósito.

	<b>Relé de estado sólido FOTEK SSR-40DA</b>	<b>Relé de estado sólido MGR-H3200Z</b>
Voltaje de control	3 – 32 VDC	4 – 32 VDC
Voltaje de carga	24 – 380 VAC	30 – 420 VAC
Corriente de carga	40 A max.	200 A max.
Imagen		
Precio	\$ 20	\$ 37

**Tabla 13.-** Tabla comparativa de actuadores de estado sólido [44], [45]

*Elaborado por: El investigador*

Al analizar la Tabla 13 se optó por el relé de estado sólido MGR-H3200, debido a su alto rango de corriente de carga que soporta. Este tipo de relés es utilizado para equipos petroquímicos, maquinaria en industria alimentaria, embalaje y para control automatizado, por lo que perfectamente puede soportar la carga que supone una residencia.

### 3.1.2.6. Dispositivo para pruebas de funcionamiento

	<b>Variac monofasico</b>	
Voltaje de entrada	110/220 VAC	
Voltaje de salida	0 - 250 VAC	
Corriente de salida	2 A max.	
Capacidad	500 KVA	
Frecuencia	50/60 Hz	
Precisión de la estabilización de voltaje	220V ± 3% 110V ± 6%	
Precio	\$ 120	

*Tabla 14.- Especificaciones de Variac Monofásico TDGC2 [46]*

*Elaborado por: El investigador*

Dado que las sobretensiones y subtensiones no se pueden generar de forma artificial. Por lo tanto, para las pruebas de funcionamiento de utilizo un Variac, que es una especie de transformador que permite obtener un voltaje AC de salida variable.

El Variac seleccionado para las pruebas de funcionamiento del prototipo fue el Variac Monofásico TDGC2, cuyas características se detallan en la Tabla 14. Este Variac permite manejar voltajes entre 110/220 con una corriente máxima de 2 A en la salida.

### 3.1.2.7. Control, Adquisición y Transmisión de Datos

Para una mayor eficiencia se utilizó la característica de multitasking (multitarea) propia del RTOS (sistema operativo en tiempo real) que posee el RTOS. Se programo tarea individual para realizar cada una de las actividades de adquisición de datos, control, visualización y envió de datos al Broker MQTT.

Además, el EP32 posee dos núcleos lo cual permite ejecutar tareas de forma simultánea e independiente, por lo cual se utilizó el segundo núcleo para el envió de los datos al Broker MQTT.

#### **Adquisición y procesamiento de datos**

La placa ESP32 tiene una tarea encargada de receptor y procesar las mediciones realizadas por los sensores de voltaje y corriente. Para evitar errores de lectura

con el sensor de corriente SCT 019 se utilizó un ADC de 16 bits (ADS1115), facilitando la conversión análoga a digital. El ESP32 recibe los datos del ADC mediante comunicación I2C.

Mediante librerías para los respectivos módulos utilizados se procesa los datos recibidos, para obtener los valores de voltaje y corriente.

### **Control**

Se programo una tarea para el control que es la encargada de cortar o mantener el suministro de energía eléctrica hacia la residencia mediante el accionamiento del relé de estado sólido. Dado que las GPIO ofrecen un voltaje de salida de 3.3VDC y para el accionamiento del relé es necesario 4 VDC con una corriente considerable, se diseñó un pequeño circuito basado en un transistor que permite switchear 5VDC de la fuente para permitir la activación del relé.

Tomando como voltaje nominal 120 V se estableció el voltaje de sobretensión a 132 V que corresponde a la tensión nominal más el 10% de la misma. El voltaje que se estableció como subtensión frente a una bajada de voltaje fue 108 V y el valor máximo de corriente admitido se puede establecer hasta los 200 A, según se considere necesario.

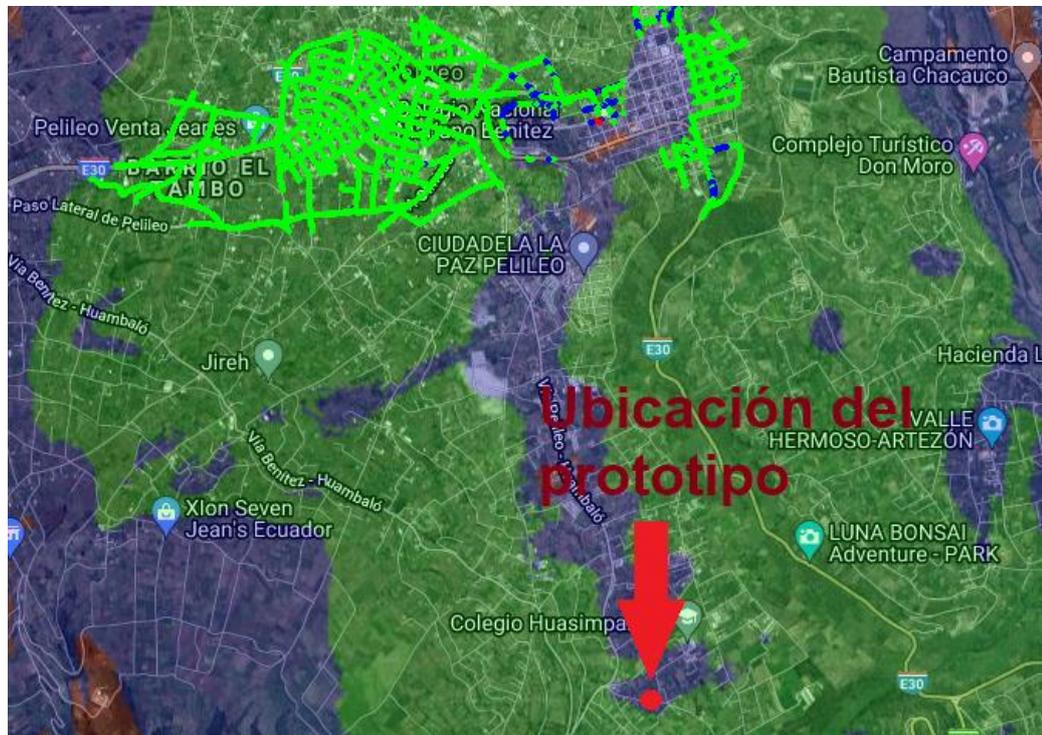
### **Transmisión de datos**

Para la transmisión de datos hacia el Broker MQTT se utilizó un módulo GSM/GPRS con la librería TinyGSM facilitando su manejo mediante puerto Serial. La tarea que permite el envío de los datos se ejecuta en el segundo núcleo del ESP32 manteniéndola separa de la demás tarea para evitar interrupciones.

La transmisión de los datos se realiza cada 1.2 segundos debido a que la latencia en GPRS se encuentra entre 0.5 a 1 segundo, por lo que no se puede transmitir datos en tiempos cortos debido a que el módulo se puede congestionar y la conexión con el Broker MQTT se puede perder produciendo pérdidas de datos.

La tarjeta SIM que se utilizó en el módulo GSM pertenece a la operadora móvil OTECEL (Movistar) que funciona en el país en la banda B5 (850 MHz) para

tecnología 2G. Dado que el módulo SIM800L funciona a las frecuencias 850/950/1800/1900 MHz, no existe ningún problema y sirve para el propósito [47]



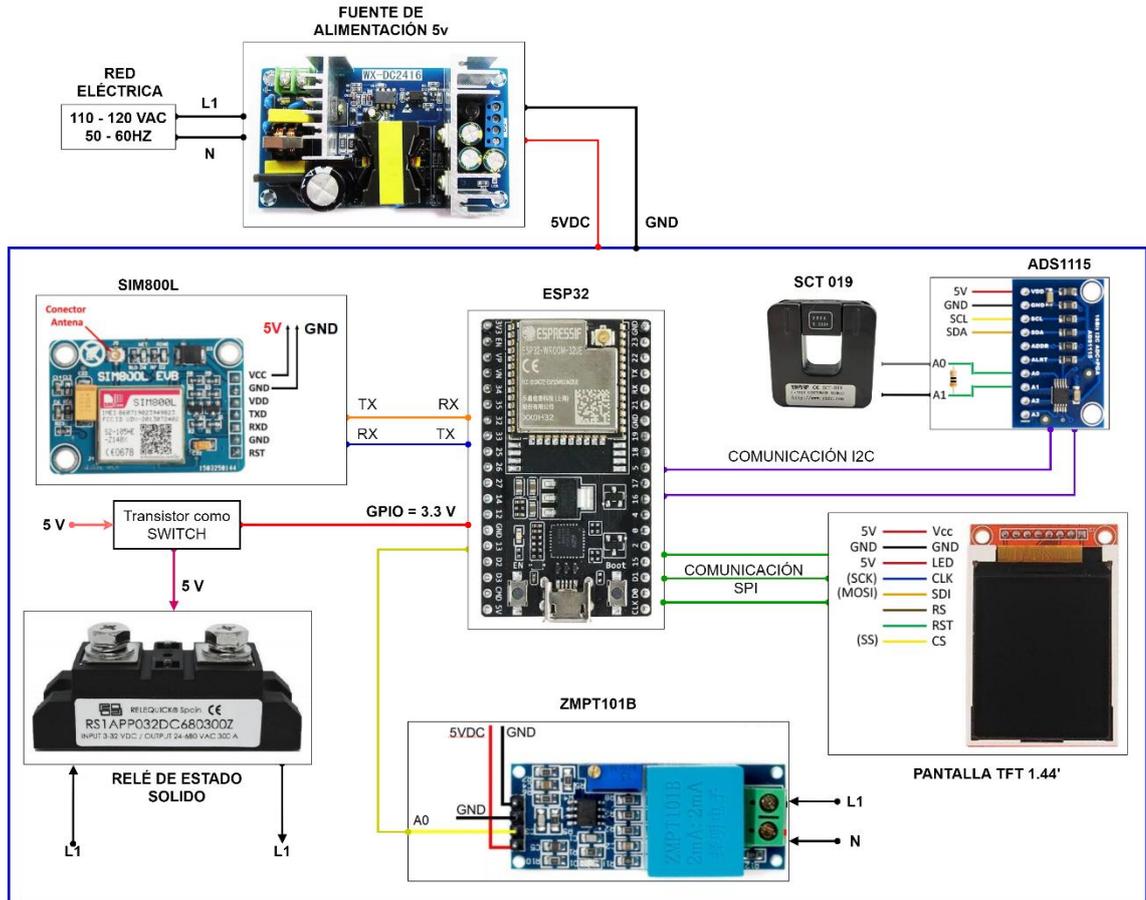
**Figura 13.-** Mapa de cobertura Movistar en tecnología 2G del cantón Pelileo [48]

De acuerdo con el mapa de cobertura que se muestra en la Figura 13, el prototipo se encontraba dentro de la zona de cobertura media entre los niveles de señal de -85 dBm y -95 dBm, por lo tanto, se permite el servicio de voz y SMS sin problemas, mientras que servicios como datos móviles no se garantizan por completo y en ciertos casos pueden existir problemas de conexión.



**Figura 14.-** Niveles de señal en tecnología 2G [48]

La Figura 15 muestra un diagrama de conexión de todos los componentes y sensores electrónicos, donde el cerebro o el que controla y procesa la información es la tarjeta controladora ESP32



*Figura 15.- Diagrama de conexiones de los componentes electrónicos*

*Elaborado por: El investigador*

### Diagrama de flujo

En la Figura 16 se presenta el diagrama de flujo de la programación de la placa ESP32. Dado que se está utilizando un RTOS, el diagrama tiene 5 tareas que cumplen una función específica. Cada una de estas tareas se ejecutarán en intervalos 15 ms intercambiando entre ellas, para dar la sensación de una ejecución en paralelo.

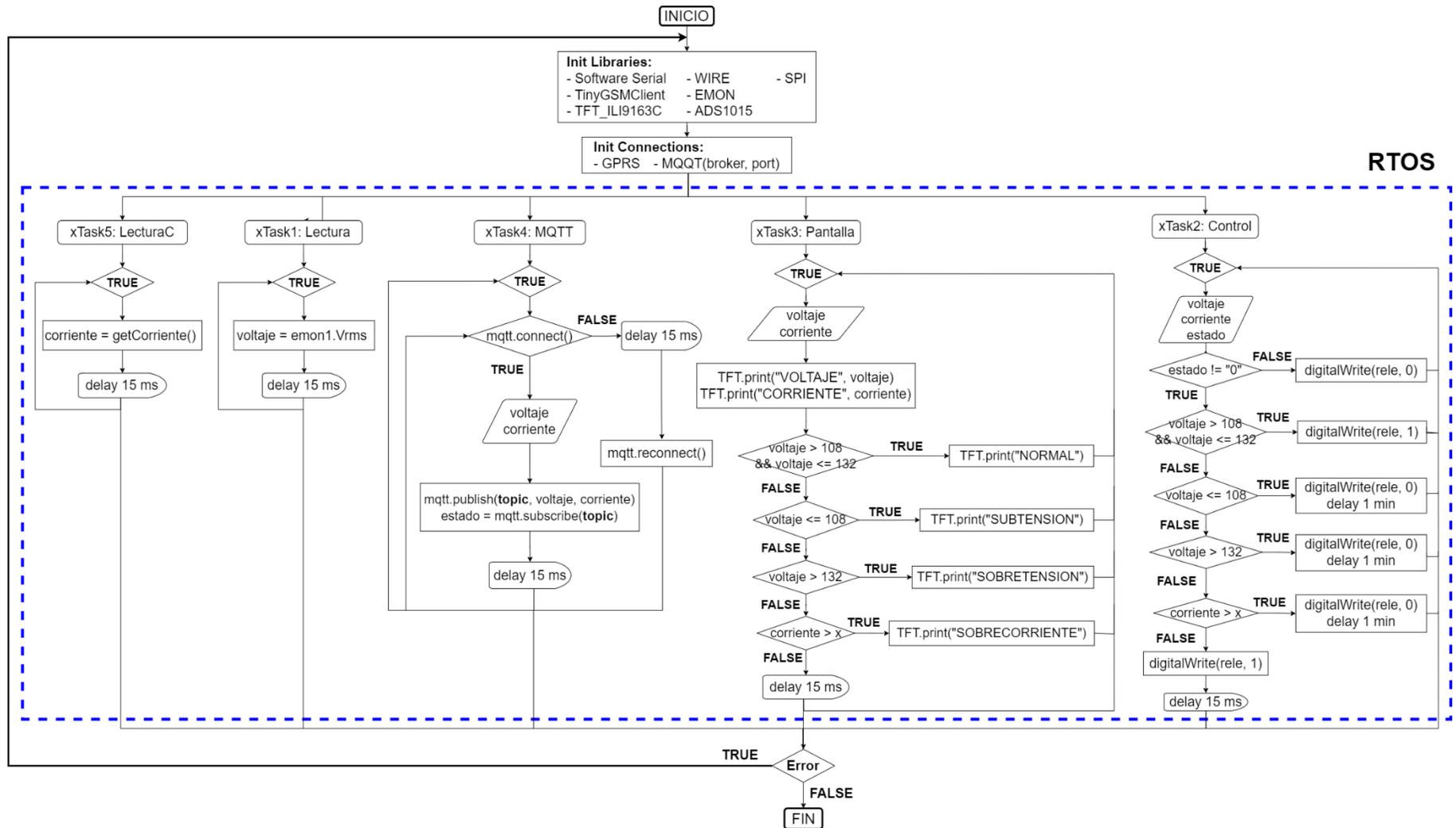


Figura 16.- Diagrama de flujo del código para el ESP32

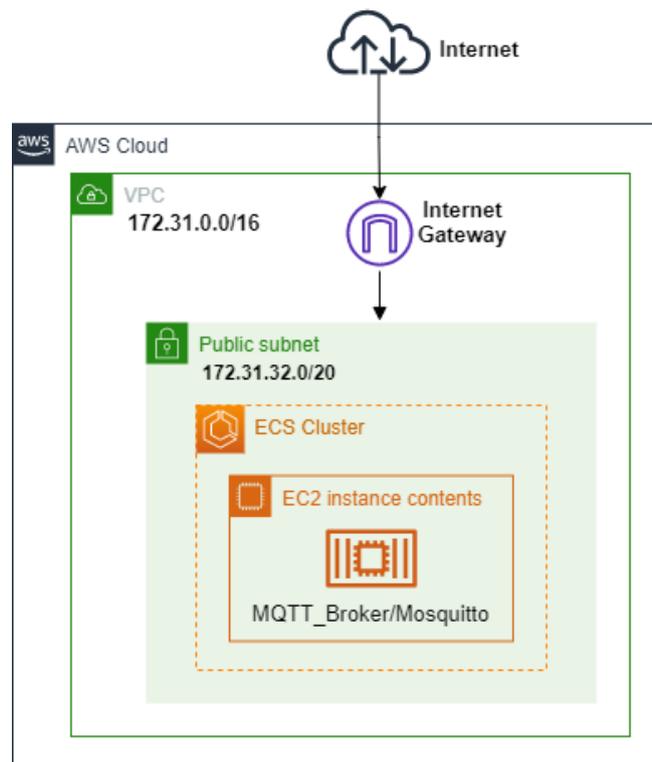
Elaborado por: El investigador

### 3.1.2.8. Diseño de Infraestructura Cloud Amazon Web Services (AWS)

Se diseño una infraestructura cloud para el despliegue de un broker MQTT utilizando servicios de Amazon Web Services para contenedores.

La infraestructura detallada en la Figura 17 consta de los siguientes elementos:

- 1 VPC (Virtual Private Cloud)
- 1 Subred pública
- 1 Internet Gateway
- 1 Cluster en Amazon ECS con 1 instancia EC2 en donde se corren los contenedores



*Figura 17.- Infraestructura Cloud AWS para Broker MQTT*

*Elaborado por: El investigador*

### 3.1.2.9. Despliegue del Broker MQTT en Amazon Web Services (AWS)

#### Subir imagen Docker a Amazon ECR

Para hacer el despliegue del bróker MQTT se utilizó una imagen de Docker de Eclipse Mosquitto, la cual se puede encontrar en el repositorio oficial de

DOCKER HUB. Se descarga la imagen de Eclipse Mosquitto en un PC para poder subirla a un repositorio de imágenes Docker de Amazon, conocido como Amazon ECR.

Para subir la imagen hacia Amazon ECR se siguió los siguientes pasos:

- 1) Iniciar sesión con la cuenta de AWS
- 2) Taggear la imagen local con el nombre del repositorio de Amazon ECR
- 3) Subir la imagen al repositorio de Amazon ECR

```
PS C:\Users\elvis> aws ecr-public get-login-password --region us-east-1 | docker login
--username AWS --password-stdin public.ecr.aws/p7s3o4g8 1
Login Succeeded
PS C:\Users\elvis> docker tag 7dd0d2a7b3dc public.ecr.aws/p7s3o4g8/mosquitto:latest 2
PS C:\Users\elvis> docker push public.ecr.aws/p7s3o4g8/mosquitto:latest 3
The push refers to repository [public.ecr.aws/p7s3o4g8/mosquitto]
080637f8f6a0: Pushed
265e8540d244: Pushed
626ea3ad92b3: Pushed
e2eb06d8af82: Pushed
latest: digest: sha256:b712cd5d3c32afafe1f04fbd6741a78da82a1d4e763ef95a029a3d665aeb962a size: 1155
```

**Figura 18.-** Proceso para subir imagen Docker de Eclipse Mosquitto a Amazon ECR

*Elaborado por: El investigador*

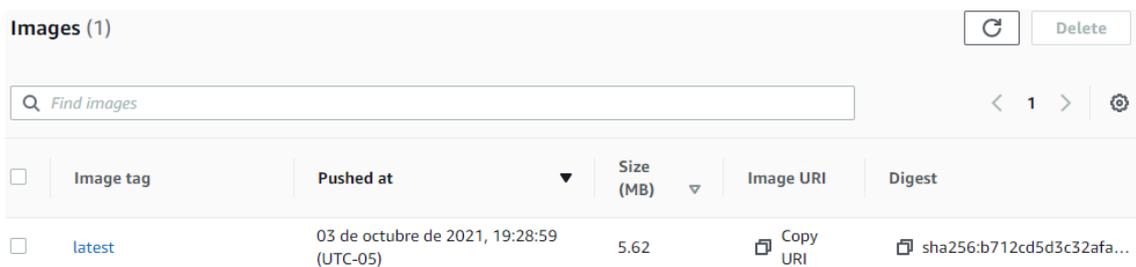


Image tag	Pushed at	Size (MB)	Image URI	Digest
latest	03 de octubre de 2021, 19:28:59 (UTC-05)	5.62	Copy URI	sha256:b712cd5d3c32afa...

**Figura 19.-** Imagen Docker subida a Amazon ECR

*Elaborado por: El investigador*

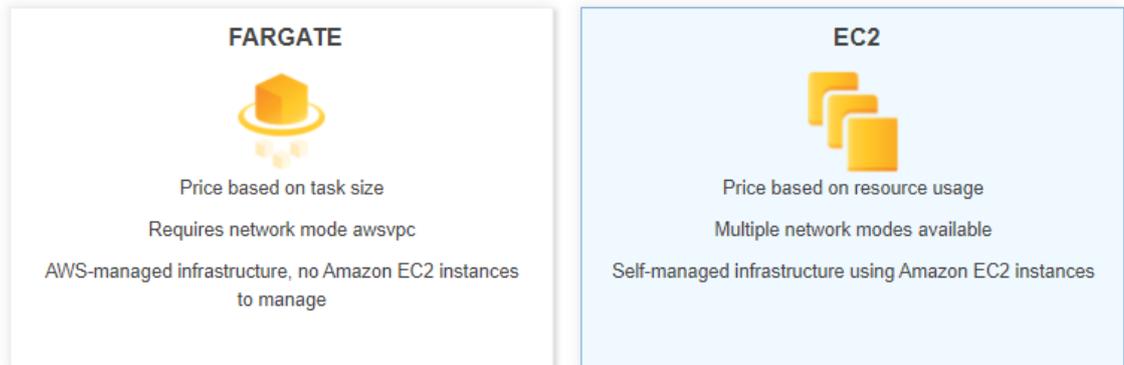
### Creación de una definición de tarea en Amazon Elastic Container Service

Una definición de tarea contiene todos los parámetros de memoria, CPU, tipo de red entre otros, para esto se realiza los siguientes pasos:

- 1) Seleccionar EC2 como tipo de lanzamiento. En este caso se selecciona EC2 ya que se utiliza una instancia para el despliegue del contenedor

## Select launch type compatibility

Select which launch type you want your task definition to be compatible with based on where you want to launch your task.



**Figura 20.- Selección del tipo de lanzamiento**

**Elaborado por: El investigador**

- 2) Asignar un role para ejecución de tarea y el modo de red como bridge

## Configure task and container definitions

A task definition specifies which containers are included in your task and how they interact with each other. You can also specify data volumes for your containers to use. [Learn more](#)

Task definition name\* MQTT Broker ⓘ

Requires compatibilities\* EC2

Task role ecsTaskExecutionRole ⓘ

Optional IAM role that tasks can use to make API requests to authorized AWS services. Create an Amazon Elastic Container Service Task Role in the [IAM Console](#) ⓘ

Network mode Bridge ⓘ

If you choose <default>, ECS will start your container using Docker's default networking mode, which is Bridge on Linux and NAT on Windows. Windows tasks support the <default> and awsvpc network modes.

**Figura 21.- Configuración de parámetros básicos de la definición de tarea**

**Elaborado por: El investigador**

- 3) Asignar el tamaño de memoria y CPU que se le van a asignar a la tarea/contenedor

## Task size



The task size allows you to specify a fixed size for your task. Task size is required for tasks using the Fargate launch type and is optional for the EC2 or External launch type. Container level memory settings are optional when task size is set. Task size is not supported for Windows containers.

Task memory (MiB)

The amount of memory (in MiB) used by the task. It can be expressed as an integer using MiB, for example 1024, or as a string using GB, for example '1GB' or '1 gb'.

Task CPU (unit)

The number of CPU units used by the task. It can be expressed as an integer using CPU units, for example 1024, or as a string using vCPUs, for example '1 vCPU' or '1 vcpu'.

Task memory maximum allocation for container memory reservation



Task CPU maximum allocation for containers



**Figura 22.- Configuración de parámetros de CPU y memoria**

**Elaborado por: El investigador**

#### 4) Anadir una definición de contenedor

Container definitions

**Add container**

Container ...	Image	Hard/Soft ...	CPU Unit...	GPU	Inference A...	Essential ...
No results						

**Figura 23.- Añadir una definición de contenedor**

**Elaborado por: El investigador**

#### 5) En la definición del contenedor se detalla lo siguiente:

- Nombre del contenedor
- La dirección URI donde se encuentra la imagen de Docker que se subió a Amazon ECR
- El límite de memoria RAM que puede usar el contenedor
- Los puertos del contenedor y de la instancia que se mapearan

Add container

▼ Standard

Container name\*  ⓘ

Image\*  ⓘ

Private repository authentication\*  ⓘ

Memory Limits (MiB)\*   ⓘ

[+ Add Soft limit](#)

Define hard and/or soft memory limits in MiB for your container. Hard and soft limits correspond to the `memory` and `memoryReservation` parameters, respectively, in task definitions.  
ECS recommends 300-500 MiB as a starting point for web applications.

Port mappings	Host port	Container port	Protocol
	<input type="text" value="1883"/>	<input type="text" value="1883"/>	<input type="text" value="tcp"/>

**Figura 24.-** Configuración del contenedor  
*Elaborado por: El investigador*

6) Finalmente le damos en crear y se verifica si se creó la tarea exitosamente

[Create new Task Definition](#) [Create new revision](#) [Actions ▼](#)

Status: [ACTIVE](#) [INACTIVE](#)

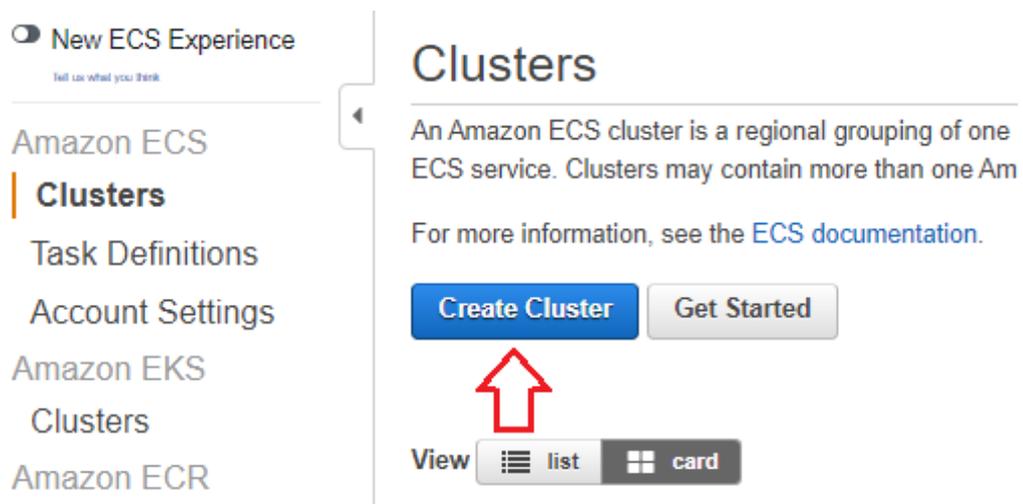
<input type="checkbox"/>	Task Definition	Latest revision status
<input type="checkbox"/>	Moquitto	ACTIVE

**Figura 25.-** Definición de tarea creada  
*Elaborado por: El investigador*

## Creación un Cluster de ECS

Un clúster de Amazon ECS es una agrupación lógica de tareas o servicios. Sus tareas y servicios se ejecutan en una infraestructura que está registrada en un clúster. La capacidad de la infraestructura puede ser proporcionada por instancias de Amazon EC2. [49]

- 1) En Amazon ECS en la sección de Cluster se escoge la opción de “Create Cluster”



*Figura 26.- Creación de un Clúster de ECS*

*Elaborado por: El investigador*

- 2) Dado que un cluster es una especie de agrupación lógica, es necesario contar con una infraestructura para lo cual se proveerá una instancia de EC2 para correr nuestro contenedor. La instancia tendrá las siguientes características:

- Provisionamiento bajo demanda (pago por uso)
- Instancia del tipo **t2.micro** (CPU =1, RAM = 1GiB)
- Amazon Linux 2 AMI (Sistema Operativo)
- 30 GB EBS Volume (Almacenamiento)

## Instance configuration

**Provisioning Model**  On-Demand Instance

With On-Demand Instances, you pay for compute capacity by the hour, with no long-term commitments or upfront payments.

Spot

Amazon EC2 Spot Instances let you take advantage of unused EC2 capacity in the AWS cloud. Spot Instances are available at up to a 90% discount compared to On-Demand prices. [Learn more](#)

**EC2 instance type\***

Manually enter desired instance type

**Number of instances\***

**EC2 AMI ID\***

**Root EBS Volume Size (GiB)**

**Figura 27.- Configuración de parámetros de instancia EC2**  
**Elaborado por: El investigador**

- 3) En la sección de Redes seleccionamos la VPC y la subred que se va a utilizar, además habilitar la opción de asignación automática de IP pública para tener acceso desde cualquier parte.

## Networking

Configure the VPC for your container instances to use. A VPC is an isolated portion of the AWS cloud populated by AWS objects, such as Amazon EC2 instances. You can choose an existing VPC, or create a new one with this wizard.

**VPC**

Check the structure for [vpc-f56bfd88](#) in the Amazon EC2 console.

**Subnets**

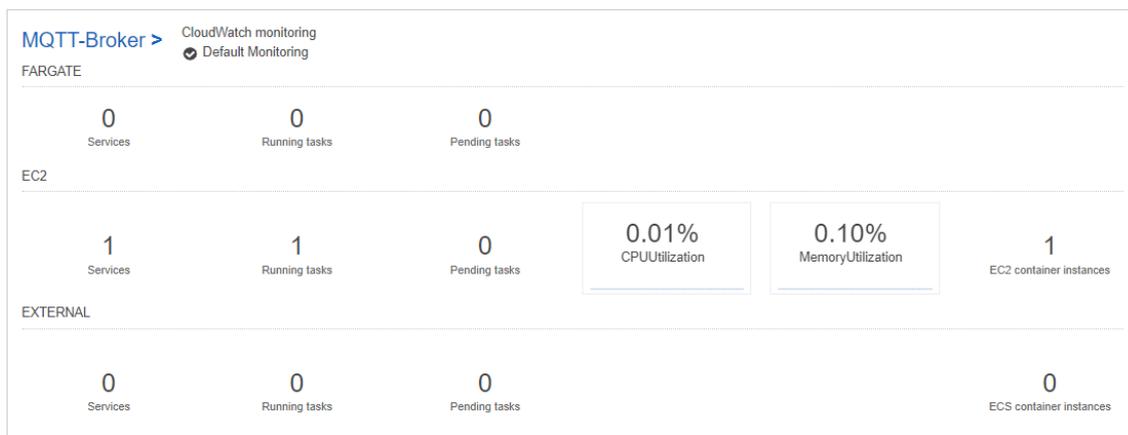
**Auto assign public IP**

**Security group**

Rules for [sg-037b978ebb8e08f66](#) in the EC2 Console.

**Figura 28.- Configuración de red para la instancia EC2**  
**Elaborado por: El investigador**

- 4) Una vez creado el Clúster de ECS se pueden observar las métricas de utilización de recursos



**Figura 29.- Métricas del clúster de ECS**

*Elaborado por: El investigador*

- 5) Para crear una tarea en nuestro clúster que correrá en la instancia EC2 se crea un servicio de la siguiente manera

## Cluster : MQTT-Broker

Get a detailed view of the resources on your cluster.

Cluster ARN `arn:aws:ecs:us-east-1:940401905947:cluster/MQTT-Broker`

Status **ACTIVE**

Registered container instances 1

Pending tasks count 0 Fargate, 0 EC2, 0 External

Running tasks count 0 Fargate, 1 EC2, 0 External

Active service count 0 Fargate, 1 EC2, 0 External

Draining service count 0 Fargate, 0 EC2, 0 External

Services | Tasks | ECS Instances | Metrics | Scheduled Tasks | Tags | Capacity Providers

Create  Delete Actions

**Figura 30.- Creación de un servicio**

*Elaborado por: El investigador*

- 6) La configuración del servicio requiere de los siguientes parámetros:
- Especificación de la definición de tarea que se creó con anterioridad
  - Seleccionar el cluster
  - Nombre del servicio
  - Servicio de tipo REPLICA
  - El número de tareas que deberá crear el servicio

### Configure service

---

Task Definition	Family	Moquitto	▼	Enter a value
	Revision	2 (latest)	▼	
	Cluster	MQTT-Broker	▼	i
	Service name	Broker_		i
	Service type*	<input checked="" type="radio"/> REPLICA <input type="radio"/> DAEMON		i
	Number of tasks			i
	Minimum healthy percent	100		i
	Maximum percent	200		i
	Deployment circuit breaker	Disabled	▼	i

**Figura 31.- Configuración del servicio**

**Elaborado por: El investigador**

- 7) Luego de haber creado el servicio y este se encuentra activo la tarea se crea automáticamente

Service Name	Status	Service typ...	Task Definit...	Desired tas...	Running ta...
Broker	ACTIVE	REPLICA	Moquitto:2	1	1

**Figura 32.- Estado del servicio**  
**Elaborado por: El investigador**

8) Para comprobar si la tarea se creó y está corriendo se lo hace en la pestaña de tareas

Task	Task definiti...	Container in...	Last status ...	Desired stat...	Started at
531c325080...	Moquitto:2	a8ecffc8c32f...	RUNNING	RUNNING	2021-11-13 1...

**Figura 33.- Estado de la tarea**  
**Elaborado por: El investigador**

9) Se ingresa en la tarea donde se pueden ver los contenedores que están corriendo, así como la información de este. En este caso se obtiene la IP Publica, así como el puerto que se usan para conectar al Broker MQTT

Name	Container Runtime I...	Status...	Image
mosquito_...	a7e6c196c346b8b8d5...	RUNNI...	public.ecr.aws/p7s3o4g8/mosquito...

Host Port	Container Port	Protocol	External Link
1883	1883	tcp	34.235.118.234:1883

**Figura 34.- información del contendor corriendo en la tarea**  
**Elaborado por: El investigador**

### 3.1.2.10. Diseño del PCB

El diagrama electrónico fue realizado con el software EAGLE, pero previamente el circuito se armó y realizo las pruebas respectivas en una protoboard. Dado que no se puede simular el microcontrolador y los sensores se realizó directamente el diagrama electrónico.

El diagrama electrónico de la Figura 35, consta los siguientes elementos:

- Microcontrolador ESP32
- Modulo GSM/GPRS SIM800L
- ADS 1115 de 16 bits
- Pines de conexión para sensores
- Pines de conexión pantalla TFT, borneras y fuente de alimentación

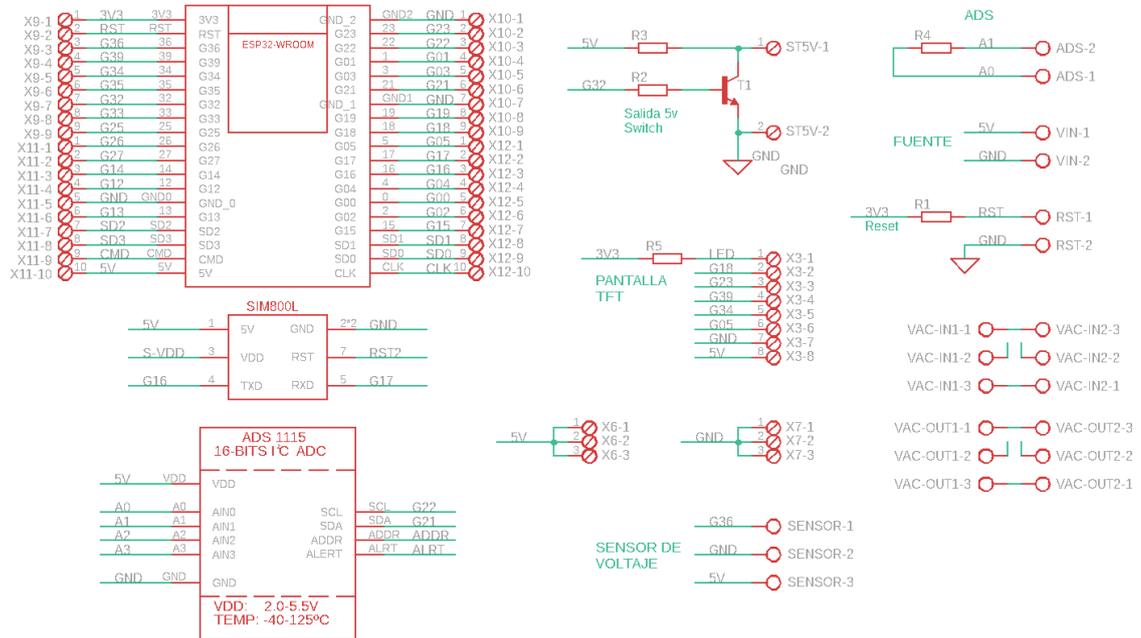
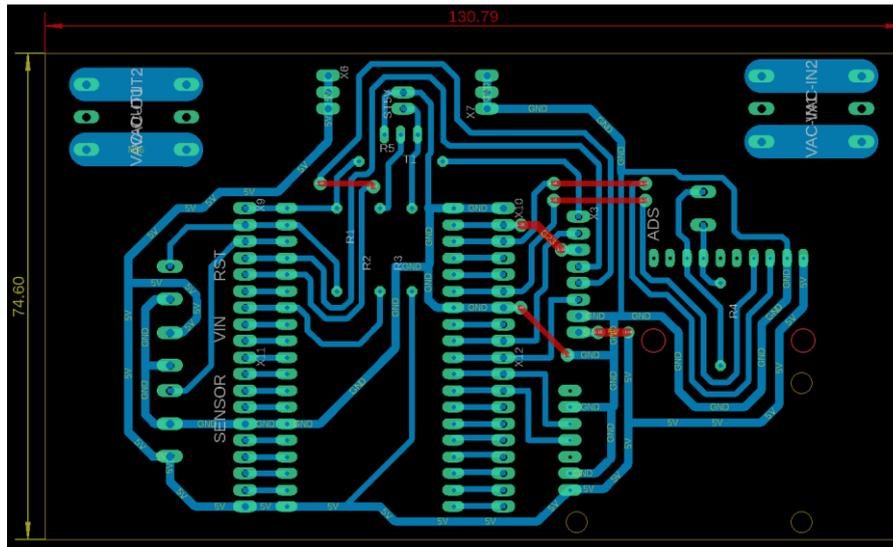


Figura 35.- Diagrama Electrónico en Eagle

Elaborado por: El investigador

Una vez realizado el diagrama electrónico se procedió a la elaboración del diagrama de pistas mediante la utilización del editor de circuitos impresos del software Eagle, obteniendo como resultado lo detallado en la Figura 36.



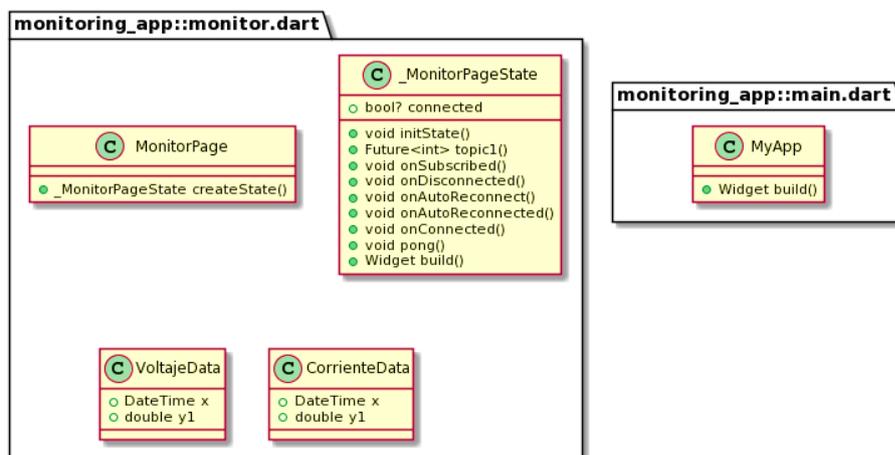
*Figura 36.- Diagrama de circuito impreso en Eagle  
Elaborado por: El investigador*

### 3.1.2.11. Desarrollo de la Aplicación Móvil

#### Diagrama de clases UML (Lenguaje Unificado de Modelado)

Antes de empezar con el desarrollo de la aplicación móvil se elaboró un diagrama de clases UML donde se describió la estructura de clases de la aplicación y tener una visión más amplia de lo que se va a desarrollar.

Un diagrama de clases UML consta de tres filas. La fila superior contiene el nombre de la clase, la fila del centro contiene los atributos de la clase y la última expresa los métodos o las operaciones que la clase puede utilizar. [50]



*Figura 37.- Diagrama de clases UML de la aplicación móvil  
Elaborado por: El investigador*

## Diagrama de secuencia de la aplicación móvil

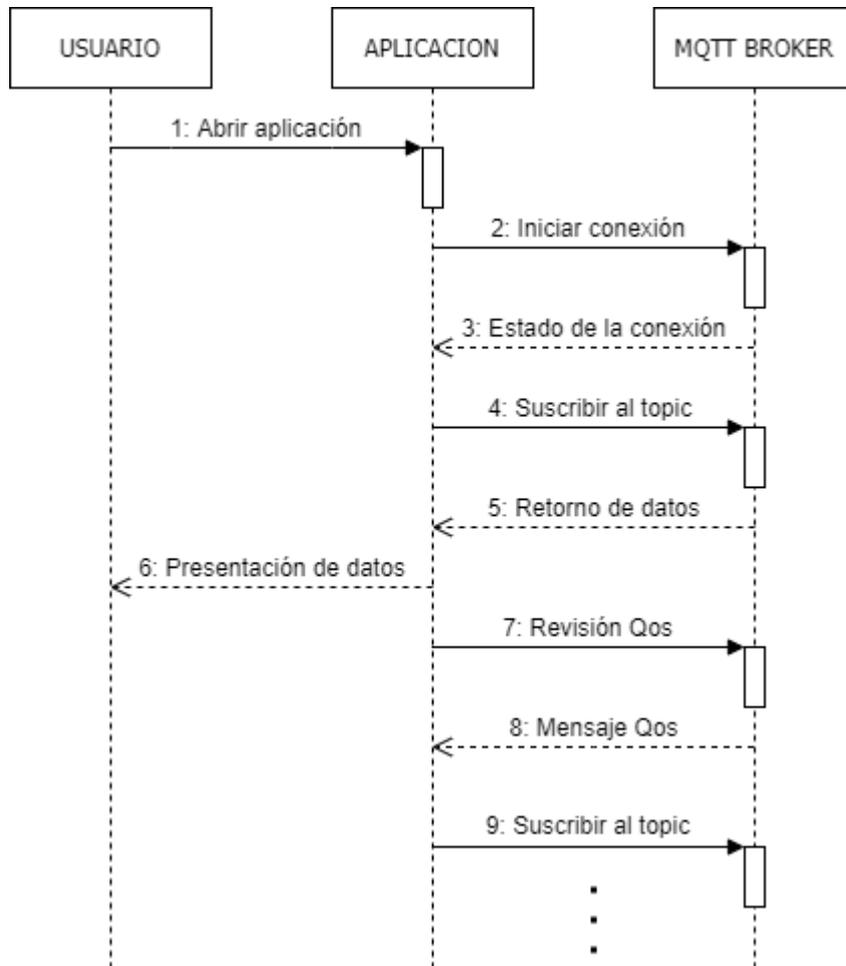
En diagrama de secuencia de la Figura 38 permite mostrar la interacción que existe entre la aplicación y el usuario y la interacción entre la aplicación y el MQTT Broker, así como el orden en la que ocurre cada integración.

### Interacciones:

- **1: Abrir aplicación**  
La primera interacción será cuando el usuario abra la aplicación móvil
- **2: Iniciar conexión**  
La segunda interacción se produce cuando la aplicación se conecte al MQTT Broker, mediante un IP publica y el puerto 1883
- **3: Estado de la conexión**  
Una vez que se haya finalizado el proceso de conexión la aplicación obtiene una respuesta del estado de la conexión
- **4: Suscribirse al topic**  
Si la conexión es exitosa la aplicación se suscribirá a un determinado topic al cual el prototipo envía los valores de voltaje y corriente
- **5: Retorno de datos**  
Cuando la aplicación se suscribe al topic esta obtendrá los datos de voltaje y corriente para su procesamiento
- **6: Presentación de datos**  
Una vez procesado los datos se mostrarán hacia el usuario mediante gauges y gráficos de líneas
- **7: Revisión QoS**  
Para comprobar que la calidad de la conexión entre la aplicación y el MQTT Broker, el envío y recepción de datos son estables y se producen sin error alguno, la aplicación envía un mensaje al Broker con esta finalidad
- **8: Mensaje QoS**  
La aplicación obtendrá como respuesta un **numero** entre el 0, 1 y 2 que describen la calidad de la conexión y que el envío y recepción de datos es estable. Dependiendo de la respuesta la aplicación se reconectará o cerrará la conexión con el Broker

- **9: Suscribirse al topic**

La aplicación se volverá a suscribir nuevamente al Broker y volverán a repetirse las interacciones desde la #4

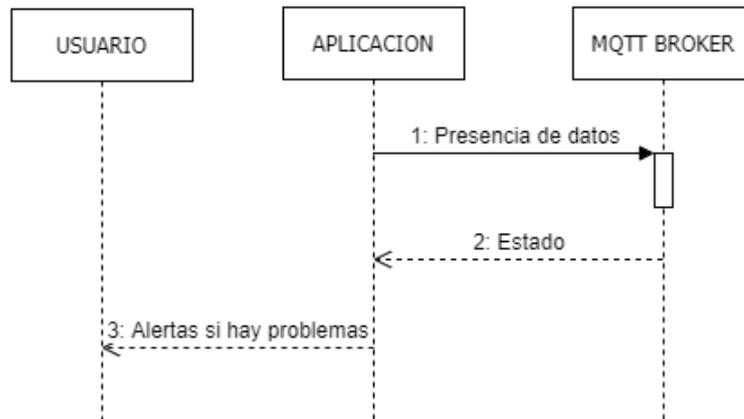


**Figura 38.-** Diagrama de secuencia de la aplicación móvil

*Elaborado por:* El investigador

En la Figura 39 se puede observar el diagrama de secuencia para las notificaciones móviles en caso de alertas. Consta de 3 interacciones donde la primer revisa si hay datos en el Boker MQTT y mediante la interacción 2 se determina si hay datos o no. En caso de que no se reciba ningún dato, significa que el dispositivo no está enviando datos y existe problemas de comunicación o el dispositivo se apagó por una interrupción eléctrica.

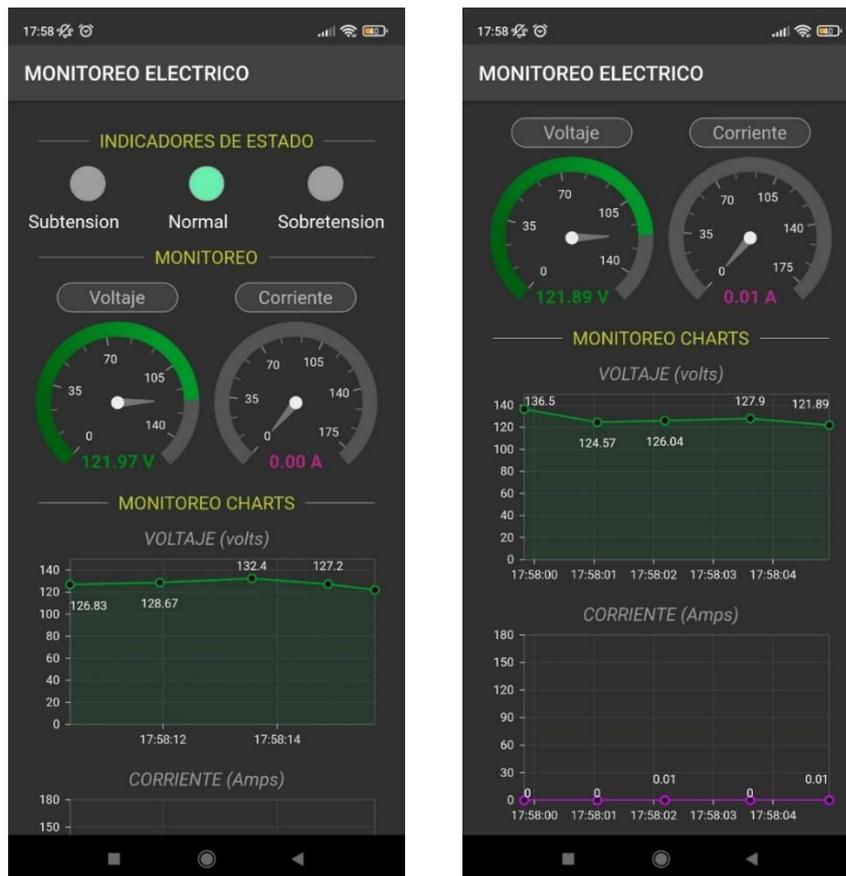
La tercera interacción lanza la notificación correspondiente dependiendo que lo que procese la aplicación.



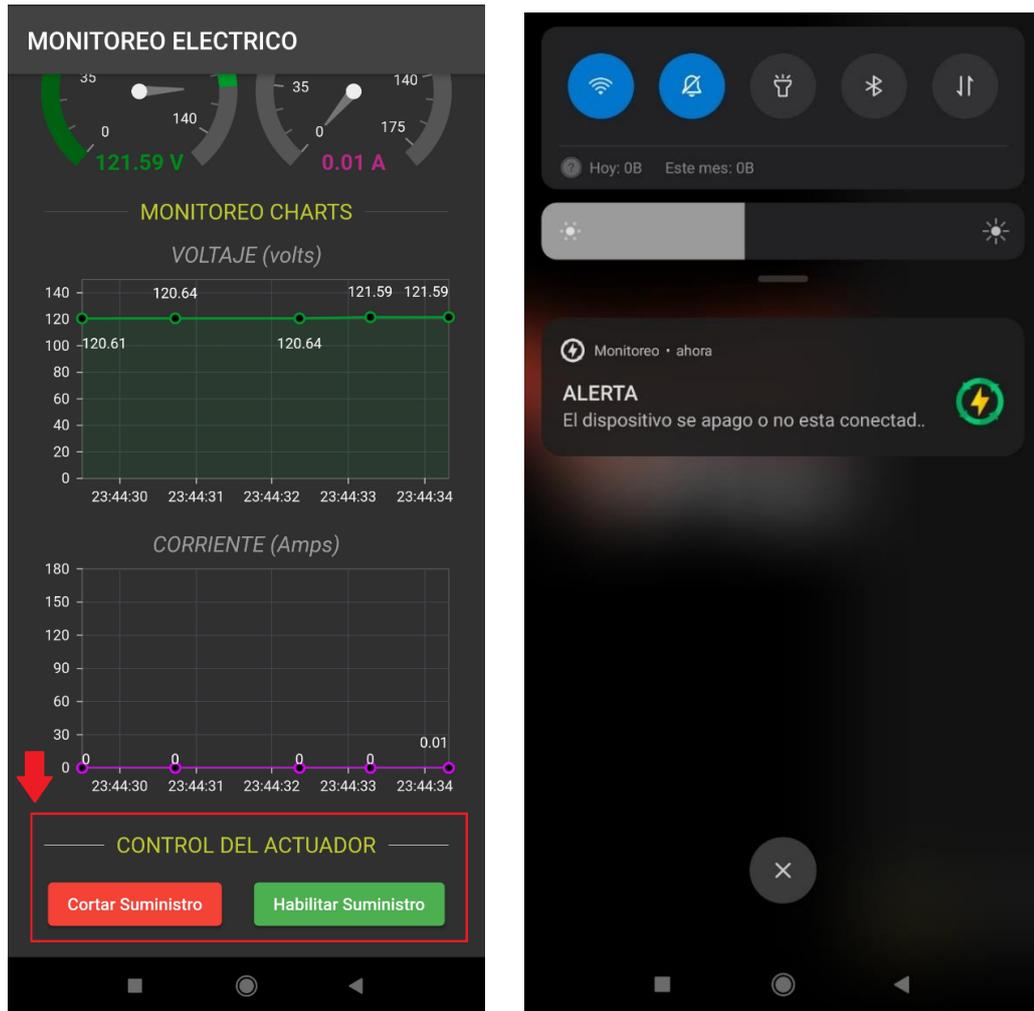
**Figura 39.-** Diagrama de secuencia de las notificaciones de alerta  
*Elaborado por: El investigador*

### Programación de la aplicación

Para la programación de la aplicación móvil se utilizó Flutter con la librería MQTT Client, para la adquisición de los datos del Broker MQTT, mediante la IP publica y el puerto 1883. En las Figuras 40 y 41 se pueden observar unas capturas de pantalla del resultado.



**Figura 40.-** Interfaces de la aplicación móvil



*Figura 41.- Interfaz y notificación de alertas*

### Creación del APK

Una vez terminado el código de la aplicación se debe crear el APK que permitirá instalar la aplicación en cualquier smartphone Android. Mediante el siguiente código se compilo y creo el APK

```

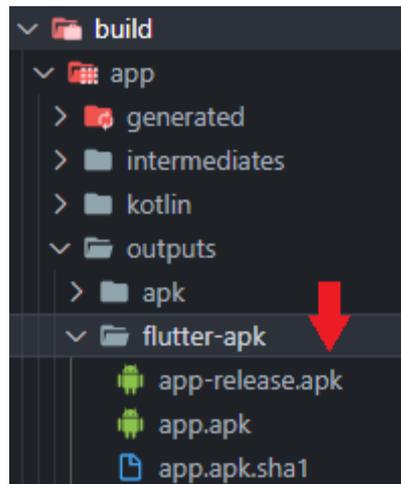
$ flutter build apk
👉 Building with sound null safety 👈
Running Gradle task 'assembleRelease'...
Running Gradle task 'assembleRelease'... Done
✓ Built build\app\outputs\flutter-apk\app-release.apk

```

*Figura 42.- Creación del APK de la aplicación móvil*

*Elaborado por: El investigador*

Una terminado el proceso de creación se almacenará en la dirección *build\app\outputs\flutter-apk* con el nombre *app-release.apk*.



*Figura 43.- APK creado*

*Elaborado por: El investigador*

Para instalar la aplicación en un smartphone solo es necesario copiar el APK en al celular y luego instalar siguiendo las respectivas instrucciones. Una vez instalada la aplicación se la abre y automáticamente se conecta al Broker MQTT y empieza a recibir los datos para mostrarlos en la interfaz

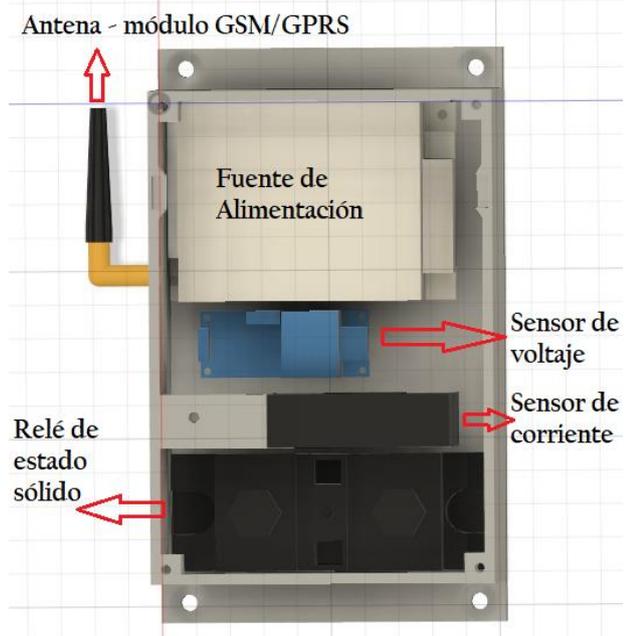
### **3.1.2.12. Diseño y Ensamble de la estructura física**

#### **Diseño en 3D de la estructura**

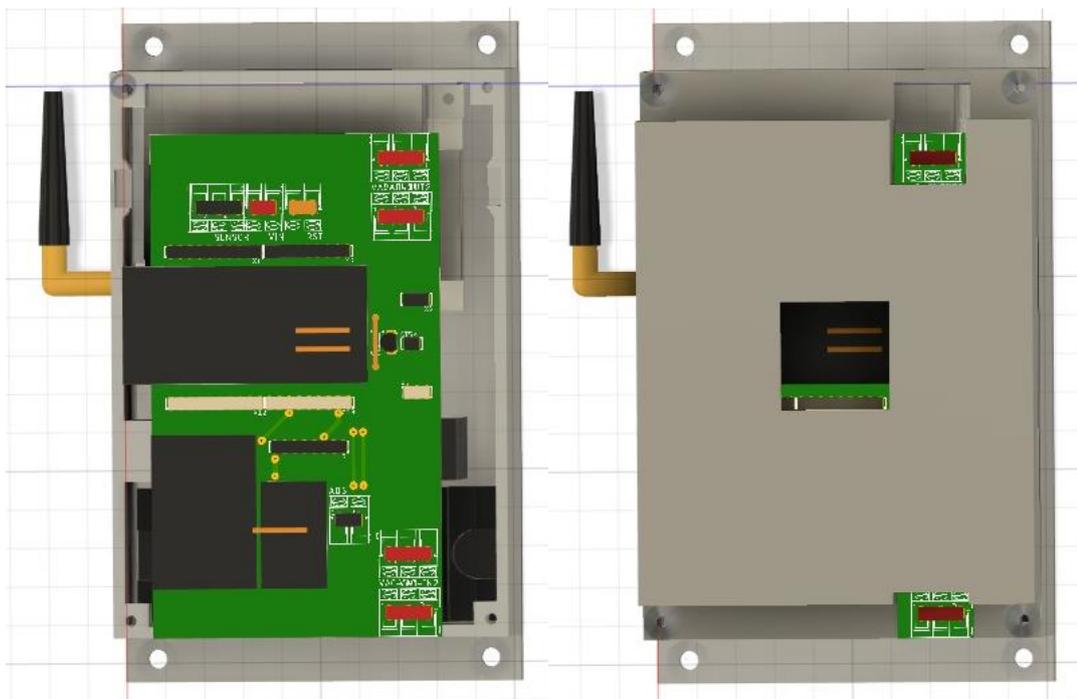
La estructura física que contiene todos los elementos, sensores y el PCB se diseñó en 3D con las medidas correspondiente. Posteriormente se imprimió en una impresora 3D.

La Figura 44 detalla cada uno de los elementos internos y la disposición de estos. Estos elementos generalmente no se encuentran a la vista para evitar su manipulación.

Mientras tanto en la Figura 45 se puede observar cómo se ve realmente el dispositivo cuando se coloca la PCB y la tapa frontal.



**Figura 44.-** Diseño en 3D de la estructura y sus elementos internos  
*Elaborado por: El investigador*



**Figura 45.-** Diseño en 3D del prototipo con el PCB y la tapa frontal  
*Elaborado por: El investigador*

### Montaje del prototipo

Los sensores, la fuente de alimentación y el relé de estado sólido se ubican en el fondo de la estructura y encima de los mismo se colocó el PCB con los elementos electrónicos que componen el circuito.



*Figura 46.- Ensamble del prototipo  
Elaborado por: El investigador*

### 3.1.3. Presupuesto

Para el desarrollo del proyecto de investigación se analizó el costo de materiales, servicios e insumos utilizados durante la realización del proyecto. También se determinó el presupuesto de ingeniería en base al número de horas invertidas. Para esto se analizó el valor por hora tomando como referencia un sueldo básico de 400 USD, vigente al momento en el que se realizó el proyecto.

En la Tabla 15 se puede observar todos los materiales, servicios e insumos utilizados para el desarrollo del proyecto, donde se detallan las cantidades y precios de cada uno de ellos.

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Total
1	Placa electrónica de desarrollo ESP32	c/u	1	\$ 12	\$ 12
2	Modulo GSM/GPRS SIM800L	c/u	1	\$ 25	\$ 25
3	Sensor de voltaje ZMPT101b	c/u	1	\$ 9	\$ 9
4	Sensor de corriente SCT-019	c/u	1	\$ 28	\$ 28
5	Fuente de alimentación	c/u	1	\$ 12	\$ 12
6	Actuador de estado solido	c/u	1	\$ 37	\$ 37
7	Pantalla TFT 1.44'	c/u	1	\$ 15	\$ 15
8	ADS1115	c/u	1	\$ 9	\$ 9
9	Herramientas	c/u	5	\$ 7	\$ 35
10	Baquelita	c/u	1	\$ 5	\$ 10
11	Material eléctrico	c/u	20	\$ 1	\$ 20
12	Material electrónico	c/u	20	\$ 1.5	\$ 30
13	Impresión 3D	c/u	1	\$ 30	\$ 30
14	Tarjeta SIM Movistar	c/u	1	\$ 5	\$ 5
15	Plan de datos móvil	c/mes	3	\$ 10	\$ 30
16	Amazon Web Services	c/mes	3	\$ 12	\$ 36
17	Transporte publico	c/u	30	\$ 0.50	\$ 15
18	Materiales de oficina	c/u	3	\$ 5	\$ 15
19	Internet	c/mes	4	\$ 25	\$ 100
				<b>Subtotal</b>	\$ 416.24
				<b>IVA (12%)</b>	\$ 56.76
				<b>Total</b>	<b>\$ 473</b>

*Tabla 15.- Presupuesto de materiales, servicios e insumos del proyecto*

*Elaborado por: El investigador*

Para conocer el presupuesto ingeniería se utilizó la siguiente ecuación para conocer el valor por día, en base a un sueldo básico, considerando 20 días laborales por mes.

$$Valor_{dia} = \frac{Sueldo\ básico\ mensual}{Dias\ Laborales}$$

$$Valor_{dia} = \frac{400}{20}$$

$$Valor_{dia} = 20 \frac{USD}{dia}$$

De la ecuación anterior se obtuvo un valor o salario de 20 USD por día. Con este valor se procedió al cálculo de valor hora, en base a 8 hora laborales diarias.

$$Valor_{hora} = \frac{Valor_{dia}}{horas\ laborales\ por\ dia}$$

$$Valor_{hora} = \frac{20}{8}$$

$$Valor_{hora} = \frac{20}{8}$$

$$Valor_{hora} = 2.5 \frac{USD}{hora}$$

Se emplearon alrededor de 150 horas para actividades de diseño, programación, construcción y pruebas de funcionamiento del prototipo.

$$Presupuesto = Valor_{hora} * horas_{totales}$$

$$Presupuesto = 2.5 * 150$$

$$Presupuesto = 375 USD$$

Ítem	Descripción	Total
1	Materiales, servicios e insumos	\$ 473
2	Ingeniería	\$ 375
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 848</b>

*Tabla 16.- Presupuesto final del proyecto de investigación*

*Elaborado por: El investigador*

En base a la Tabla 16 el costo total del proyecto es 848 USD, tomando en cuenta costos de materiales, servicios e insumos para la elaboración del prototipo, de igual forma se sumó los costos de Ingeniería.

### 3.1.4. Análisis de Costo – Beneficio

#### Comparación con equipos comerciales

En la Tabla 17 se realizó una comparación de las características de dos componentes de protección comerciales que usualmente se utilizan en

residencias, comparándolos con el prototipo desarrollado, de modo que se identificaron las similitudes y diferencias entre los ellos.

	<b>Breakermatic</b>	<b>Schneider A9A26500</b>	<b>Prototipo</b>
<b>Reconexión automática</b>	SI	NO	SI
<b>Tiempo de reconexión</b>	30 - 60 s	-	Programable
<b>Protección contra sobretensiones</b>	SI	SI	SI
<b>Protección contra aumentos de corriente</b>	SI	SI	SI
<b>Protección contra subtensiones</b>	SI	NO	SI
<b>Monitoreo remoto</b>	NO	NO	SI
<b>Control remoto del actuador</b>	NO	NO	SI
<b>Alertas de perturbaciones</b>	NO	NO	SI
<b>Corriente de carga</b>	Max. 15 A	Max. 45 A	Max. 200 A
<b>Actuador</b>	Relé seco	Magnético	Estado Sólido

*Tabla 17.- Comparación con equipos comerciales [51], [52]*

*Elaborado por: El investigador*

Después del análisis se determinó que el dispositivo se destaca por soportar una corriente de carga superior a los demás y además se resalta las funcionalidades de monitoreo, control remoto del actuador y alertas de perturbaciones.

### **Análisis de Costo – Beneficio**

Se analizó el costo – beneficio para si el prototipo compensa su valor de acuerdo con los beneficios que este ofrece. Se tomó como caso una residencia que generalmente tiene los siguientes electrodomésticos

- 2 televisores
- 1 microondas
- 1 refrigerador
- 1 lavadora
- 1 computadora

- 1 licuadora
- 1 radio o equipo de audio

	<b>Breakermatic</b>	<b>Schneider A9A26500</b>	<b>Prototipo</b>
<b>Cantidad</b>	8	1	1
<b>Costo individual</b>	\$ 20	\$ 145	\$ 848
Total	\$ 160	\$ 145	\$ 848

*Tabla 18.- Análisis costo - beneficio*

*Elaborado por: El investigador*

En la Tabla 18 se analizó el número de dispositivos de protección y el precio de los mismo para la protección de los electrodomésticos ya mencionados, sin tomar en cuenta costos de material eléctrico ni mano de obra.

Por costo la mejor opción es el protector Schneider A9A26500 con un precio de \$ 145 y la opción más cara sería el prototipo, sin tomar en cuenta funcionalidades y/o características.

Debido a que el prototipo no fue realizado en una producción en volumen el costo de materia prima, ingeniería y mano de obra es más elevado en comparación a los dos dispositivos que si son producidos en volumen y por lo tanto tienen un costo más accesible. El prototipo no puede ser la mejor opción debido a su elevado costo a pesar de que la funcionalidad y características sean superiores a los otros dispositivos.

### **3.1.5. Resultados**

#### **Fase 1: Mediciones con cargas**

Para comprobar que las mediciones de voltaje y corriente que realiza el prototipo sean correctas y sean precisas. Para esto se realizaron 5 mediciones cada 5 minutos con el prototipo, un multímetro y una pinza amperimétrica, cada una de las pruebas se realizaron con diferentes electrodomésticos que generalmente son comunes en una residencia.

Además, se determinó el error absoluto y relativo de cada medición, para lo cual se utilizó las ecuaciones (1) y (2)

$$\varepsilon = |\text{medición del multímetro} - \text{medición del prototipo}| \quad (1)$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\text{medición del multímetro}} * 100\% \quad (2)$$

En la Tabla 19 se puede observar todas las mediciones realizadas y cada uno de los errores absolutos y relativos obtenidos.

Nº	Carga	Voltaje (V)		Error	
		Multímetro	Prototipo	Absoluto	Relativo (%)
1	Refrigerador	116.6	115.50	1.10	0.94
		115.3	114.70	0.60	0.52
		115.4	115.69	0.29	0.25
		116.2	116.92	0.72	0.62
		116.3	115.83	0.47	0.40
2	Televisor	112.4	113.30	0.90	0.80
		113.1	114.20	1.10	0.97
		113.4	113.64	0.24	0.21
		115.1	115.80	0.70	0.61
		115.3	114.91	0.39	0.34
3	Licuadora	118.7	119.38	0.68	0.57
		117.5	116.76	0.74	0.63
		118.2	118.67	0.47	0.40
		119.2	118.74	0.46	0.39
		118.0	118.85	0.85	0.72
4	Lavadora	111.8	112.11	0.31	0.28
		112.3	114.07	1.77	1.58
		113.1	114.80	1.70	1.50
		112.7	114.03	1.33	1.18
		109.6	111.73	2.13	1.94
5	Mini Horno Eléctrico	113.1	113.46	0.36	0.32
		112.7	113.80	1.10	0.98
		114.5	113.95	0.55	0.48
		114.9	114.40	0.50	0.44
		115.7	116.81	1.11	0.96

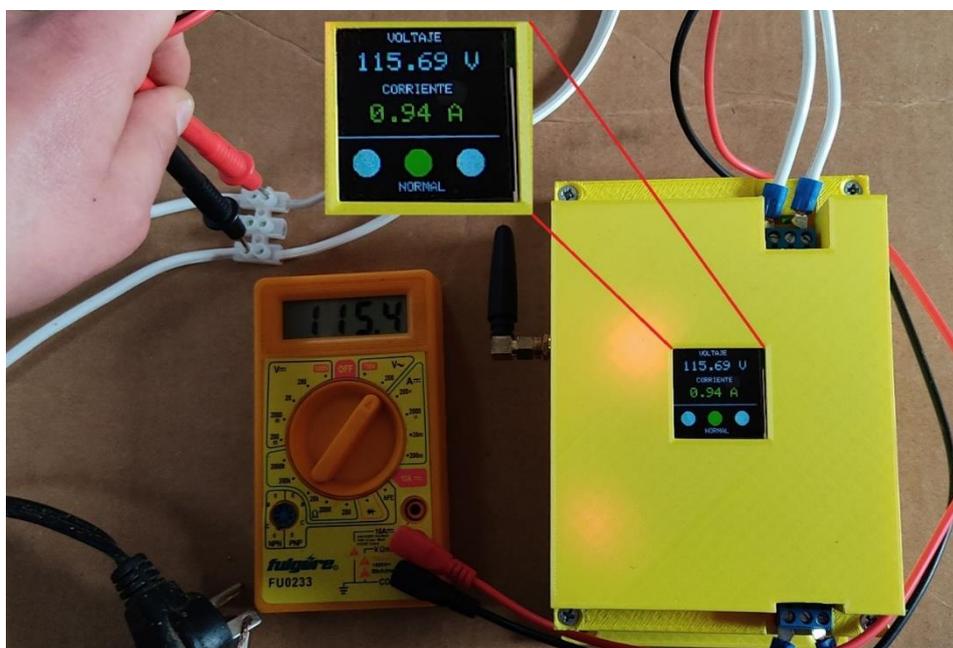
6	Plancha	113.5	112.67	0.83	0.73
		114.1	115.54	1.44	1.26
		113.8	113.01	0.79	0.69
		113.5	112.92	0.58	0.51
		114.9	115.32	0.42	0.37

**Tabla 19.- Mediciones de voltaje con cargas**

**Elaborado por:** El investigador

El voltaje monofásico teórico que llega a los domicilios es 120 V, pero se puede observar en la tabla de mediciones voltajes inferiores a este. Pueden ser productos de pequeñas caídas de voltaje en el cableado eléctrico dentro de la residencia o de caídas de voltaje en los transformadores de distribución. Generalmente la mayoría de los electrodomésticos están fabricados para funcionar con 110/120 V con cierto margen de error.

Después de haber realizado las mediciones con cada uno de los electrodomésticos respectivos, en las mediciones de voltaje se obtuvo un error absoluto de  $\pm 2.13 V$ , lo cual puede ser perjudicial al momento de la detección de sobretensiones. Por otro lado, en el resto de las mediciones se obtuvieron errores absolutos cerca de  $\pm 1 V$  o inferiores al este.



**Figura 47.- Medición de voltaje con un refrigerador como carga**

En la Tabla 20 se puede observar cada una de las mediciones de corriente realizadas, así como los cálculos respectivos de error absoluto y relativo para cada una de las mediciones

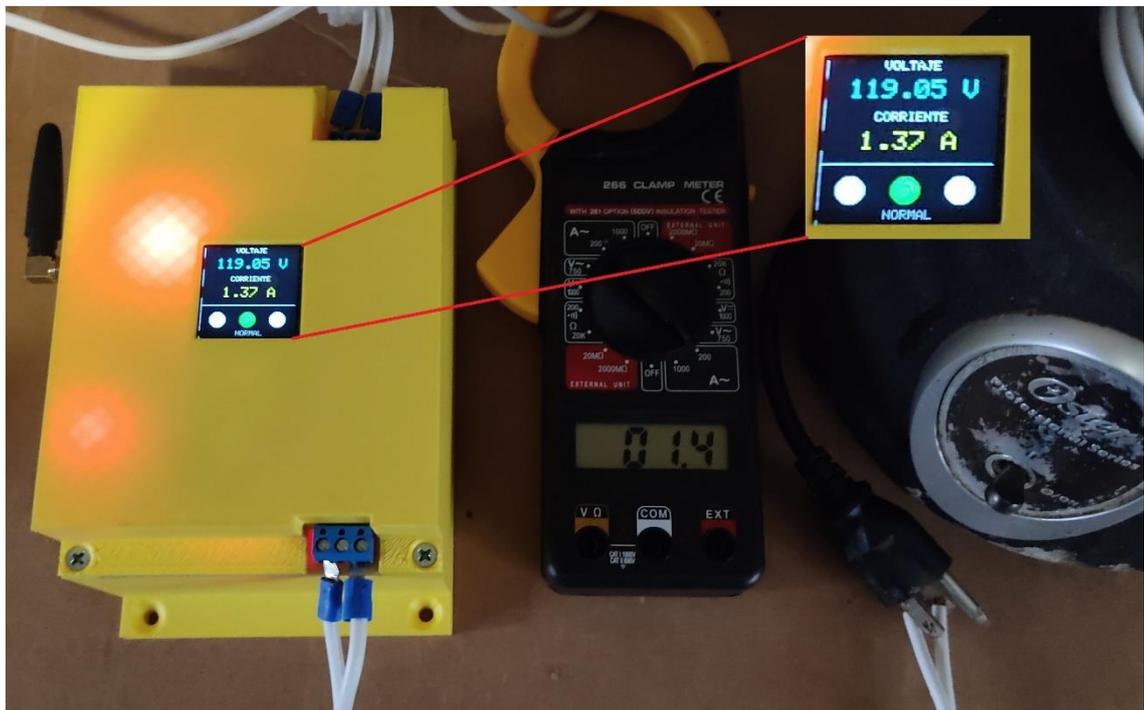
N°	Carga	Corriente (A)		Error	
		Pinza Amperimétrica	Prototipo	Absoluto	Relativo (%)
1	Refrigerador	0.8	0.88	0.08	10.00
		0.8	0.89	0.09	11.25
		0.8	0.90	0.1	12.50
		0.9	0.95	0.05	5.56
		0.8	0.88	0.08	10.00
2	Televisor	0.1	0.17	0.07	70.00
		0.2	0.17	0.03	15.00
		0.2	0.18	0.02	10.00
		0.1	0.17	0.07	70.00
		0.2	0.18	0.02	10.00
3	Licuadora	1.4	1.43	0.03	2.14
		1.3	1.26	0.04	3.08
		1.4	1.36	0.04	2.86
		1.5	1.47	0.03	2.00
		1.3	1.29	0.01	0.77
4	Lavadora	0.2	0.15	0.05	25.00
		0.2	0.17	0.03	15.00
		0.1	0.15	0.05	50.00
		0.2	0.15	0.05	25.00
		0.1	0.13	0.03	30.00
5	Mini Horno Eléctrico	3.3	3.11	0.19	5.76
		3.2	2.88	0.32	10.00
		3.3	3.21	0.09	2.73
		3.3	3.37	0.07	2.12
		3.2	3.00	0.2	6.25
6	Plancha	7.0	6.98	0.02	0.29
		6.9	6.61	0.29	4.20
		6.9	6.87	0.03	0.43
		7.1	7	0.1	1.41
		7.0	6.82	0.18	2.57

**Tabla 20.- Mediciones de corriente con cargas**

**Elaborado por: El investigador**

En cuanto a las mediciones de corriente se puede evidenciar que se obtuvieron errores relativos de 50% e incluso 70%. La escala mínima que ofrece la pinza amperimétrica utilizada es de 200 A, por lo que esto puede afectar considerablemente aquellas mediciones por debajo de 1 A. Además, el dispositivo de medición solo ofrece un decimal por lo que es difícil estimar si la medición que ofrece es exacta.

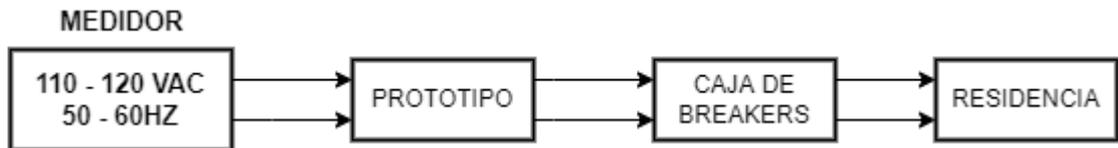
En comparación con la pinza amperimétrica utilizada; el prototipo ofrece una medición con dos decimales y se acerca a las mediciones de la pinza amperimétrica, lo cual da una mayor confiabilidad. La detección de aumentos bruscos de corrientes se puede detectar sin problema.



*Figura 48.- Medición de corriente con una licuadora como carga*

## **Fase 2: Mediciones en una residencia**

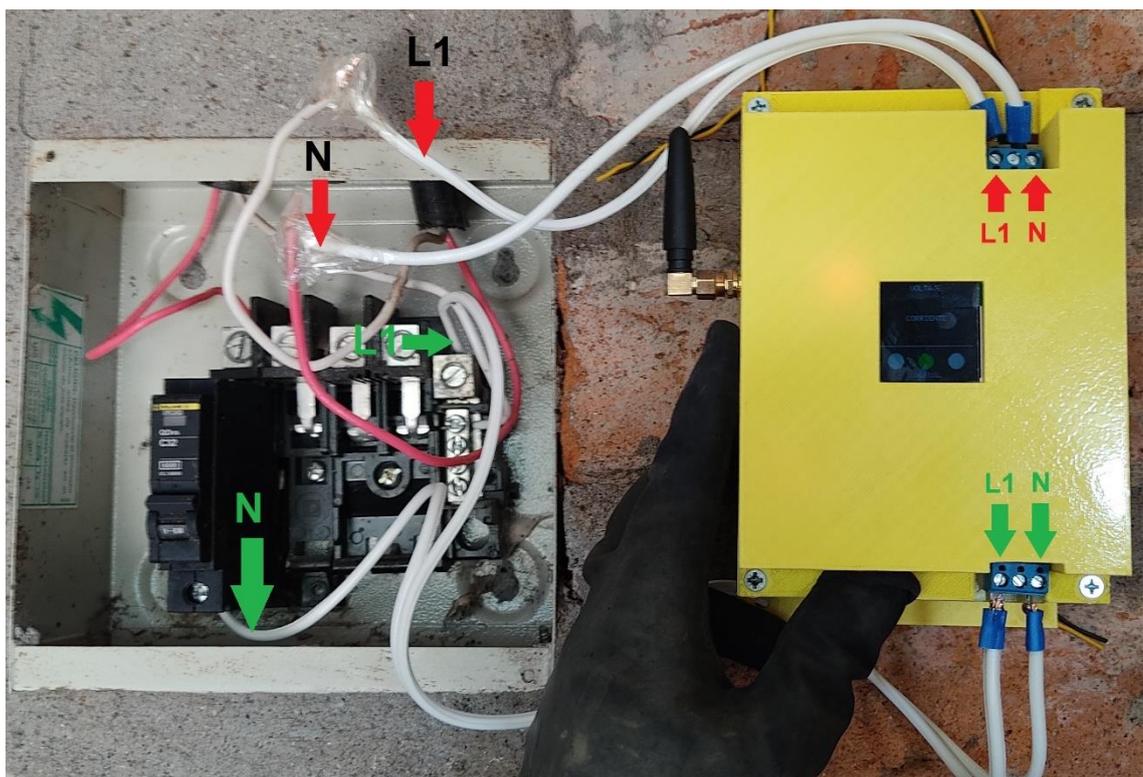
Se realizó las pruebas respectivas conectando el dispositivo en una residencia ubicándolo entre el medidor y una caja de breakers. Durante el proceso se fueron encendiendo distintos electrodomésticos detectando los cambios de corriente dentro de la residencia.



**Figura 49.-** Diagrama de conexión en una residencia

*Elaborado por: El investigador*

De acuerdo con el diagrama de bloques de conexión de la Figura 49, el prototipo se ubicó antes de la caja de breakers, con las conexiones respectivas.



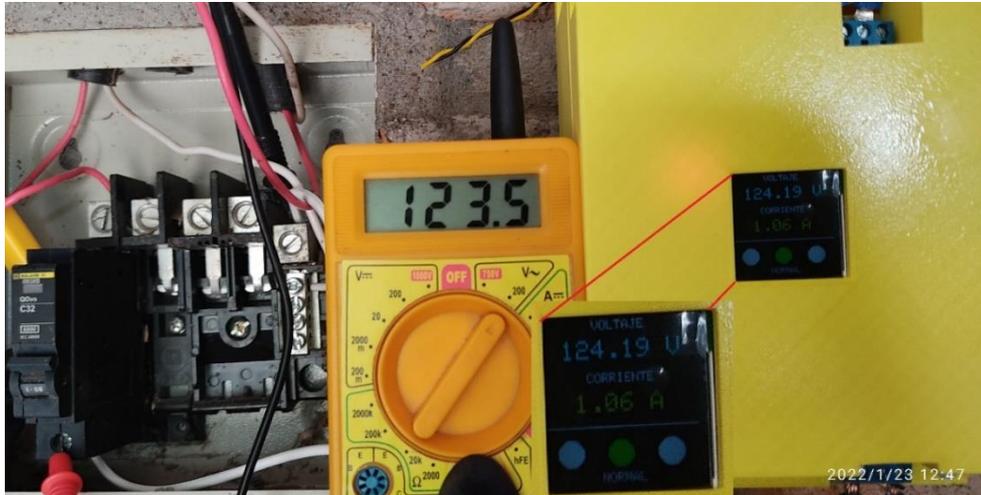
**Figura 50.-** Conexión del prototipo en una residencia

Carga	Voltaje (V)		Error	
	Multímetro	Prototipo	Absoluto	Relativo (%)
Residencia	123.5	124.19	0.69	0.56
	122.6	122.48	0.12	0.10
	122.9	123.71	0.81	0.66
	123.2	123.8	0.60	0.49
	123.6	124.82	1.22	0.99

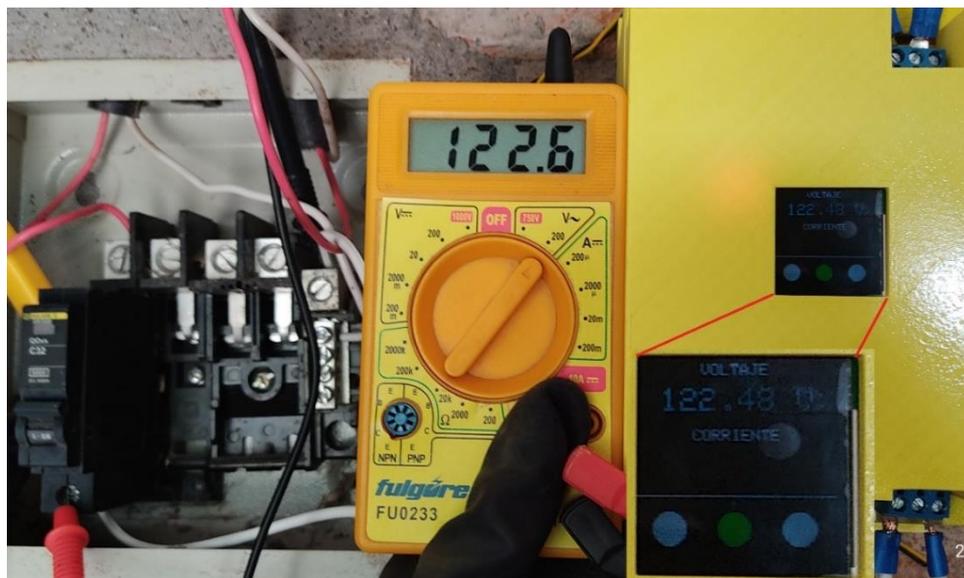
**Tabla 21.-** Mediciones de voltaje en una residencia

*Elaborado por: El investigador*

De acuerdo con las mediciones de la Tabla 21, se obtuvo errores absolutos que no superan el  $\pm 1 V$ , lo que proporciona unas mediciones confiables y estables. El rango de error se encuentra dentro de  $\pm 1V$ , el cual tiene el sensor ZMPT101B.



*Figura 51.- Medición 1 de voltaje con el prototipo en una residencia*



*Figura 52.- Medición 2 de voltaje con el prototipo en una residencia*

Carga	Corriente (A)		Error	
	Pinza Amperimétrica	Prototipo	Absoluto	Relativo (%)
Residencia	1.1	1.01	0.09	8.18
	1.1	1	0.1	9.09

	1	0.99	0.01	1.00
	1.1	1.02	0.08	7.27
	1.1	1.01	0.09	8.18

**Tabla 22.- Mediciones de corriente en una residencia**

**Elaborado por:** El investigador

En los errores durante las mediciones de corriente detallados en la Tabla 22, fueron errores absolutos entre 0.1 y 0.09 A, obteniendo errores relativos hasta 9 %, pero no todas las mediciones proporcionan tales errores ya que se obtuvo errores de casi 1% lo cual no repercute en gran medida y encuentra de un rango admisible.

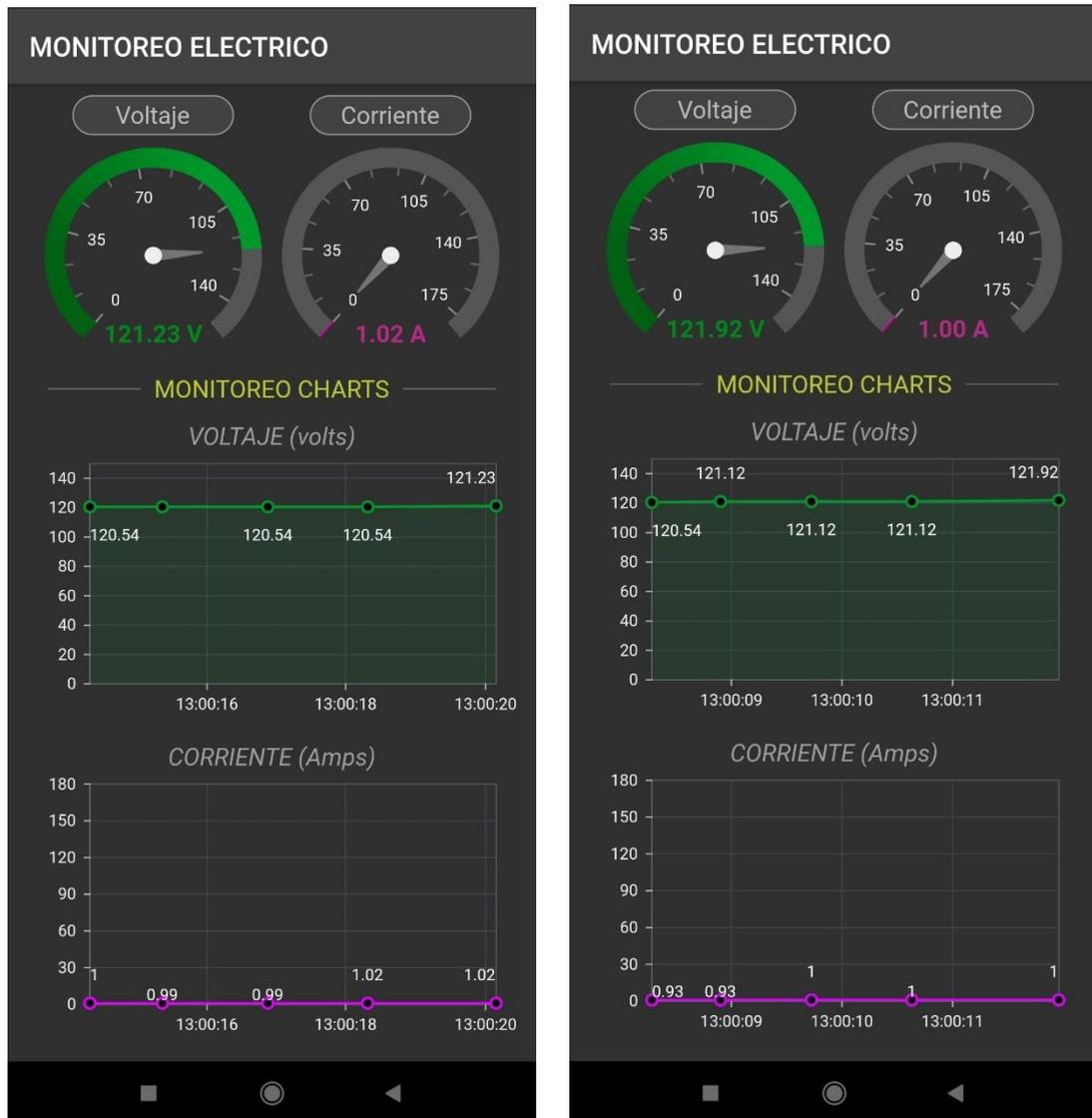


**Figura 53.- Medición de corriente con el prototipo en una residencia**

Durante las pruebas también se estuvo monitoreando el dispositivo mediante la aplicación móvil para conocer en todo momento su estado y los valores de tensión y corriente que está marcando el prototipo.

Existen momentos en los que los datos se retrasan o no llegan cada 1.2 segundo al Broker MQTT, y por tal razón en ciertos momentos la aplicación no recibe datos, ya que esta muestra los datos conforme llegan hacia el Broker MQTT, sin la existencia de perdida de datos. Solo pueden existir perdidas de datos

cuando el módulo GSM/GPRS se desconecta de la red o pierda conexión con la red cuando los niveles de cobertura se encuentran debajo de -105 dBm.



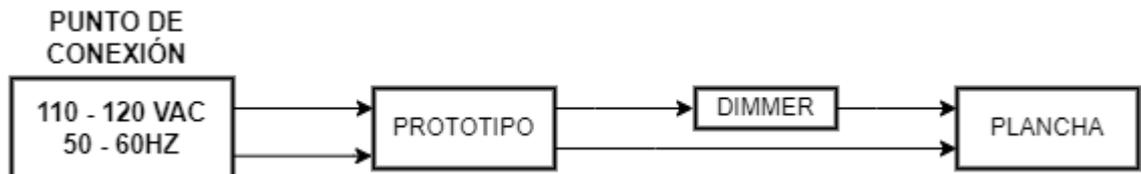
*Figura 54.- Monitoreo de mediciones en la residencia*

### Fase 3: Pruebas con aumentos de corriente

Para estas pruebas se utilizó una plancha que en su interior contiene una resistencia calentadora. Este tipo de electrodomésticos al ser cargas resistivas tienen consumo excesivo de corriente para producir calor, es un elemento adecuado para saber si el prototipo puede medir el aumento brusco de corriente y como efecto cortar el suministro de energía eléctrica hacia la carga como si de una residencia se tratara.

Primero se realizó una medición con la carga conectada al prototipo para conocer la corriente máxima que puede llegar a consumir. Luego de haber realizado la medición, la plancha consume un máximo de 7 A de acuerdo con la pinza amperimétrica, pero el prototipo marca un valor de 6.83 A. Por lo tanto, para esta prueba el prototipo se configuro con un valor de corriente máximo aceptable de 6 A y si el dispositivo detecta una corriente superior a los 6 A, inmediatamente se corta el suministro.

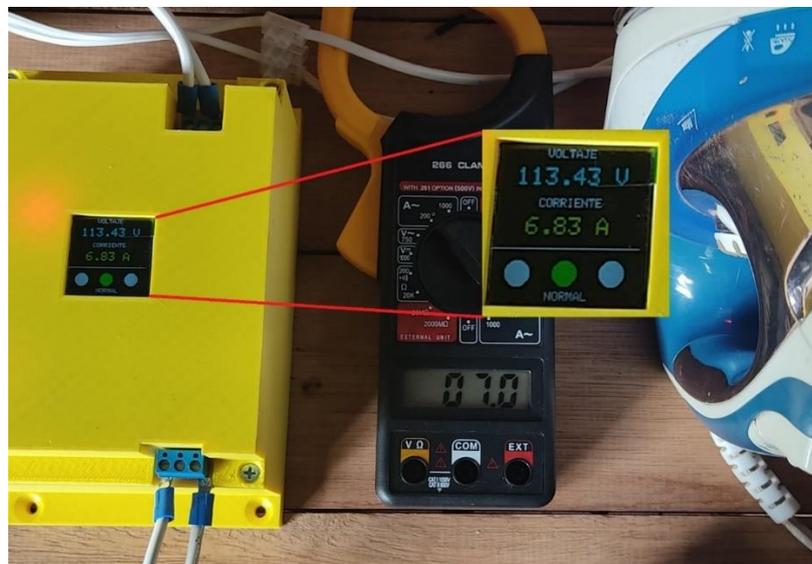
Se utilizo un dimmer para regular la temperatura de la plancha y evitar que tenga un consumo excesivo de corriente. Por lo tanto, se fue regulando la temperatura de la plancha hasta ir subiendo el consumo de corriente hasta superar los 6 A y comprobar la efectividad del prototipo.



*Figura 55.- Diagrama de conexión con la carga resistiva*

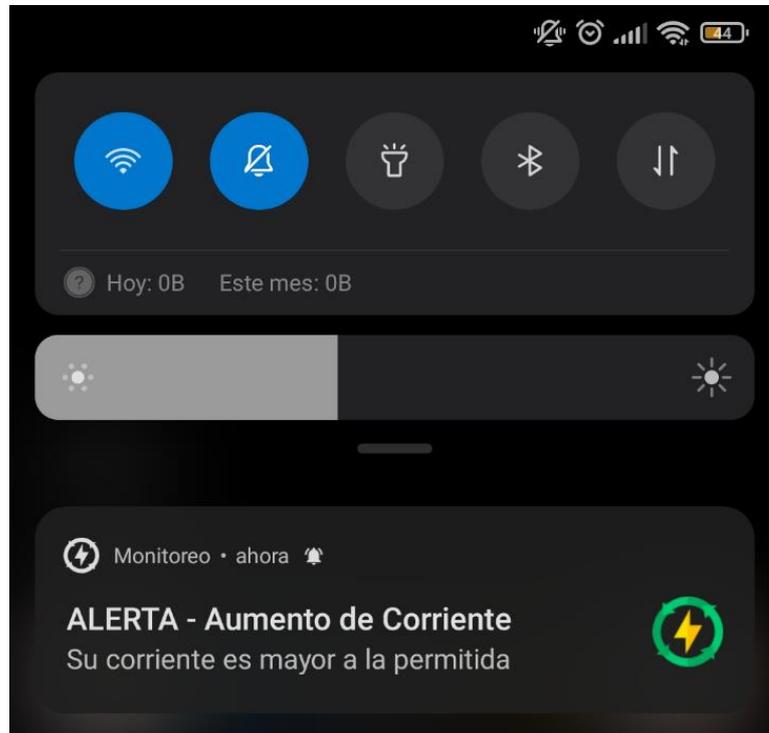
*Elaborado por: El investigador*

Las conexiones fueron realizadas de acuerdo con el diagrama de bloques de la Figura 55



*Figura 56.- Mediciones de corriente con una plancha*

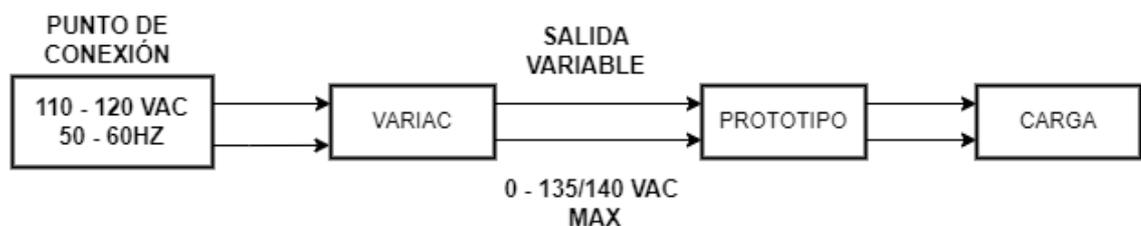
Cuando la corriente que midió el prototipo supero el límite permitido automáticamente la aplicación lanza una notificación de alerta con un mensaje de lo que sucedió, tal y como se muestra en la Figura 57



*Figura 57.- Notificación móvil por aumento de corriente*

#### **Fase 4: Pruebas con subidas y bajadas de voltaje con Variac**

Para saber que el dispositivo puede detectar las sobretensiones y subtensiones se utilizó un Variac para obtener un voltaje variable, que permita probar el prototipo y demostrar de que este cumple con su función cuando el voltaje este por encima o por debajo de un rango establecido.



*Figura 58.- Diagrama de bloques con Variac*

De acuerdo con el diagrama de bloques de la figura 58, la entrada de voltaje que se utilizó se encontraba entre 110/120 VAC y mediante la perilla del Variac se obtuvo un voltaje de salida entre 0 - 130/137 VAC.

La salida del Variac se conectó al prototipo y mediante la perilla se manipulo el voltaje de salida, para obtener un aumento y/o disminución de voltaje como si de una subtensión y/o sobretensión se tratara.

### **Pruebas con bajadas de voltaje**

Se estableció el voltaje de salida del Variac en un rango de 117 a 120 VAC, que es el voltaje que comúnmente se pueden medir en los puntos de conexiones de las residencias. Luego se disminuyó el voltaje de salida hasta llegar a un voltaje de 99/100 VAC que corresponde a una subtension por encontrarse más del 10% por debajo del voltaje nominal.

En la Tabla 23 se detallan algunas mediciones que se recolectaron durante las pruebas de funcionamiento. Una vez que se disminuyó el voltaje hasta 99/100 VAC se pudo observar que en ciertas ocasiones el prototipo arrojaba ciertas mediciones con una variación de 2/3 VAC con respecto al valor que marcaba el multímetro.

Carga	Voltaje (V)		Error	
	Multímetro	Prototipo	Absoluto	Relativo (%)
Foco	99	102.31	3.31	3.34
	99	98.8	0.20	0.20
	99	99.82	0.82	0.83
	99	97.63	1.37	1.38
	99	96.43	2.57	2.60
	99	98.76	0.24	0.24
	99	99.03	0.03	0.03
	99	98.12	0.88	0.89
	99	97.35	1.65	1.67
	99	97.21	1.79	1.81
	99	99.78	0.78	0.79
	99	101.1	2.10	2.12

*Tabla 23.- Mediciones con bajadas de voltaje aplicadas a una carga*

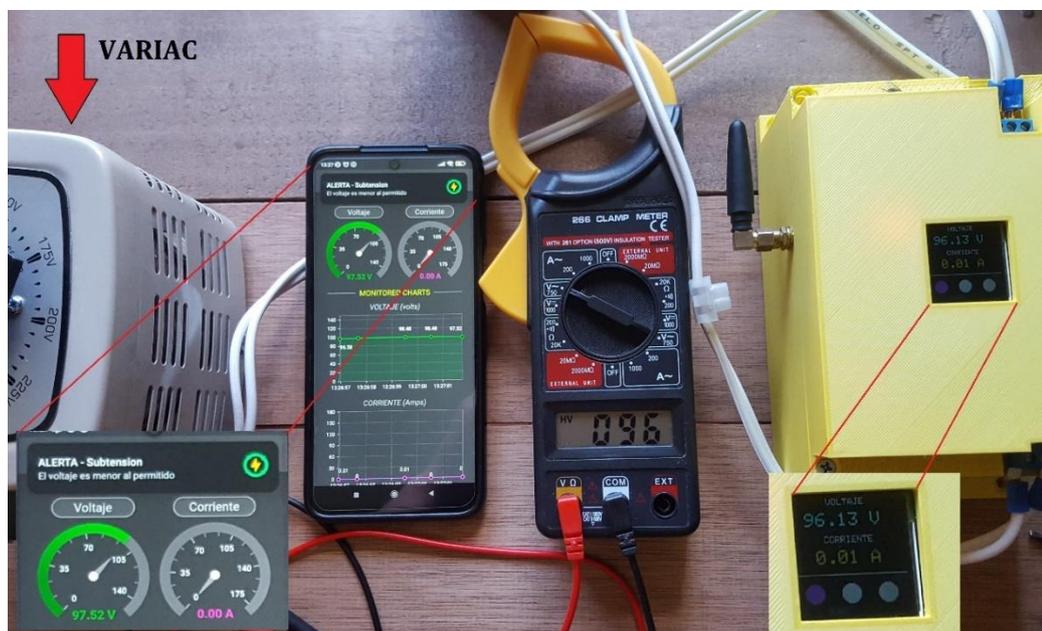
*Elaborado por: El investigador*

En las Figuras 59 y 60 se puede observar las mediciones del prototipo, el multímetro y las notificaciones de alerta en la aplicación móvil.

Cabe recalcar que las mediciones de las Figuras 59 y 60 no corresponden con los datos obtenidos en la Tabla 23, los datos y las imágenes fueron obtenidas en pruebas diferentes.

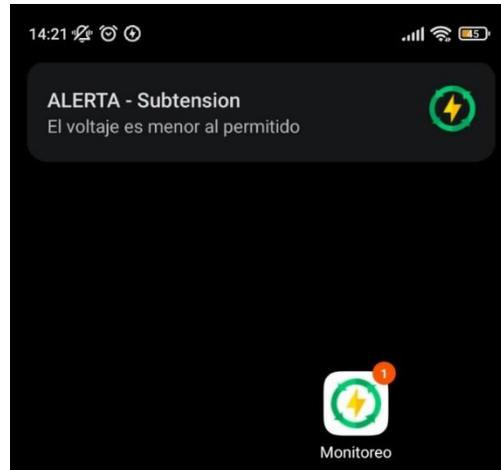


*Figura 59.- Prueba de funcionamiento #1 con bajadas de voltajes*



*Figura 60.- Prueba de funcionamiento #2 con bajadas de voltajes*

Cuando el voltaje que midió el prototipo estuvo por debajo del límite permitido (108 VAC) automáticamente la aplicación lanzó una notificación de alerta con un mensaje de lo que sucedió, tal y como se muestra en la Figura 61



*Figura 61.- Notificación por alerta de Sobretensión*

### **Pruebas con subidas de voltaje**

De igual forma para subidas de voltaje, se aumentó el voltaje a la salida del Variac en un rango de 135 a 137 VAC que está por encima del 10% del voltaje nominal y corresponde a una sobretensión.

En la Tabla 24 se detallan algunas mediciones que se recolectaron durante las pruebas de funcionamiento con subidas de voltaje. Al aumentar el voltaje de salida del Variac en un rango de 135 a 137 VAC se observó que en ciertas ocasiones el prototipo arrojaba mediciones de 133 VAC con variaciones cercanas a los 2 VAC con respecto al valor que marcaba el multímetro.

Carga	Voltaje (V)		Error	
	Multímetro	Prototipo	Absoluto	Relativo (%)
Foco	135	134.26	0.74	0.55
	134	132.01	1.99	1.49
	135	133.91	1.09	0.81
	135	134.77	0.23	0.17

	136	135.18	0.82	0.60
	135	135.1	0.10	0.07
	135	133.26	1.74	1.29
	135	134.54	0.46	0.34
	135	135.12	0.12	0.09
	135	133.82	1.18	0.87
	136	136.11	0.11	0.08
	135	135.91	0.91	0.67

**Tabla 24.-** Mediciones con subidas de voltajes aplicadas a una carga

*Elaborado por: El investigador*

En las Figuras 62 y 63 se puede observar las mediciones del prototipo, el multímetro y las notificaciones de alerta en la aplicación móvil.

Cabe recalcar que las mediciones de las Figuras 62 y 63 no corresponden con los datos obtenidos en la Tabla 23, los datos y las imágenes fueron obtenidas en pruebas diferentes.

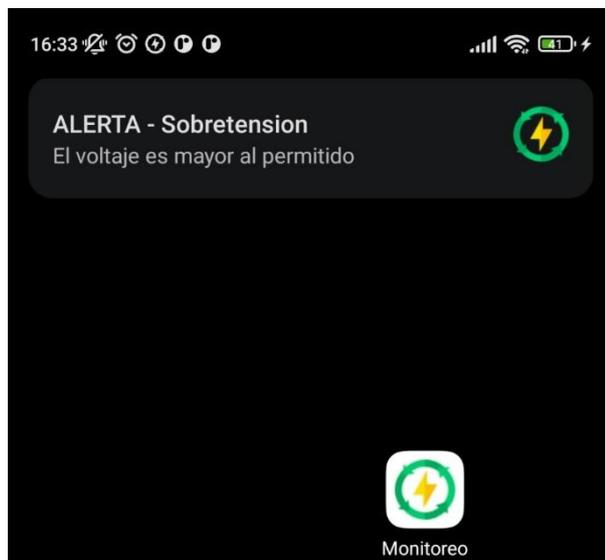


**Figura 62.-** Prueba de funcionamiento #1 con subidas de voltaje



*Figura 63.- Prueba de funcionamiento #2 con subidas de voltaje*

Cuando el voltaje que midió el prototipo supero el límite permitido (132 VAC) automáticamente la aplicación lanza una notificación de alerta con un mensaje de lo que sucedió, tal y como se muestra en la Figura 64



*Figura 64.- Notificación por alerta de Sobretension*

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. Conclusiones

- Se analizaron las causas, efectos y soluciones de las principales perturbaciones eléctricas en la red de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje que afectan a los equipos y sistemas domésticos (Tabla 6). En Ecuador las perturbaciones más comunes y frecuentes son las sobretensiones, subtensiones e interrupciones, producto de desperfectos en centros de transformación, transformadores de última milla, desconexión cargas y sobrecargas ocasionando un aumento superior al 10 % del voltaje nominal o una disminución entre el 10 % o incluso el 90 % del voltaje nominal. La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCONEL) en su informe de actividades, dio a conocer que durante el 2019 las empresas Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo (GYE), LRS, Empresa Eléctrica Galápagos, Empresa Eléctrica Quito reportaron daños en equipos por sobretensiones, subtensiones e interrupciones.
- Los protectores contra sobretensiones comerciales están compuestos de elementos de disparo y elementos de corte o interruptores generales automáticos permitiendo el corte y reconexión automática; generalmente los fabricantes están regulados por la norma internacional IEC 63052:2019, que especifica los requisitos de calidad, seguridad y compatibilidad electromagnética de dispositivos de protección. De acuerdo con esta norma los protectores contra sobretensión deben funcionar para frecuencias de 50/60 Hz, una tensión nominal no mayor a 230 VAC y una corriente nominal que no supere los 63 A. Protectores combinados o con múltiples propósitos se pueden encontrar contra sobretensiones, subtensiones y transitorios con interruptores generales automáticas; pero no son los más adecuados ya que al ser multipropósito no cumplen con una función eficientemente.

- Para pruebas de funcionamiento con subidas y bajadas de voltaje se utilizó un VARIAC, para obtener un voltaje variable entre 0 – 135/140 VAC con un voltaje de entrada de 110/120 VAC. Al disminuir el voltaje hasta 99/100 VAC las mediciones del prototipo tienen una variación de 2/3 VAC con errores relativos de 3 % y al aumentar el voltaje hasta 135/136 VAC existen variaciones en las mediciones cercanas a los 2 VAC, con errores relativos por debajo de 1.5 %. El prototipo cumple con su función de protección, pero a valores cercanos a 108 o 132 VAC existen problemas de un funcionamiento intermitente debido a las variaciones de voltaje en las mediciones del prototipo.
- A causa de una latencia de 0.5 a 1 segundo de la tecnología GPRS, el prototipo realiza el envío de los datos hacia el Broker MQTT cada 1.2 segundos, para evitar congestión del módulo, pérdidas de conexión o pérdidas de datos, sin una garantía del 100% ya que al encontrarse el prototipo en una zona de cobertura media con un rango de señal entre -85 dBm y -95 dBm, el servicio de datos móviles no está garantizado por completo.

### **3.2. Recomendaciones**

- Se recomienda la utilización de un multímetro TRUE RMS para realizar las mediciones de voltaje y corriente con errores de  $\pm 0.05\%$  en las mediciones y verificar si las mediciones arrojadas por el dispositivo están acordes con las de un multímetro TRUE RMS. Debido a que los multímetros convencionales arrojan valores con un 20% o 40% por encima o debajo del valor real.
- Reemplazar el sensor de voltaje ZMPT101B por un sensor LOULENSY que ofrece una precisión de 0,1%, para una entrada de voltaje de 0 – 300 VAC y una salida entre 0 – 10 VDC.

- A parte de las notificaciones móviles por parte de la aplicación móvil, sería recomendable agregar notificación de alerta por mensaje de texto, correo electrónico, Whatsapp o Telegram.
- Para mejorar el envío de los datos se recomienda la transición del módulo GSM/GPRS 2G a un módulo con conectividad 3G o 4G LTE que permita el envío de los datos a latencia más bajas entre 68 y 26 milisegundos, para transmitir una mayor cantidad de datos en un menor tiempo.

## MATERIAL DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] P. Guevara y A. Valle, «Escuela Politécnica Nacional,» Enero 2021. [En línea].
- [2] A. Josea, A. Vargheseb, F. E. Jensonc, P. Jacobd, A. Me y D. Thomasf, «Solid-State Circuit Breaker based Smart Distribution Board with IoT Integration,» de *Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT 2020)*, Tirunelveli, 2020.
- [3] W. An, W. Fei, X. Li, T. Le y Z. Pan, «Development of a Smart Low Voltage Circuit Breaker with Integrated Protection and Control Functions Based on Wireless Communications,» de *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, Xi'an, 2019.
- [4] O. Rashid, A. Rashid, I. S. AL-Forati y A. AL-Mayoof, «Designing and Building an Over Voltage Protection System for a Smart Home,» *International Journal of Computer Applications*, vol. 178, n° 39, pp. 25-30, Agosto 2019.
- [5] O. M. Machidon, C. Stanca, P. Ogrutan, C. Gerigan y L. Aciu, «Power-system protection device with IoT-based support for integration in smart,» *PLOS ONE*, pp. 1-22, 5 Diciembre 2018.
- [6] ARCONEL, «Informe de actividades y gestion 2019,» 2020.
- [7] ARC y INEC, «Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2020,» *Panorama Eléctrico*, p. 9, 20 Julio 2021.
- [8] ARC y INEC, «Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico 2020,» *Panorama Eléctrico*, pp. 31-32, 20 Julio 2021.
- [9] ARCONEL, «Análisis y determinación del pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica,» 2021.
- [10] ARCONEL, 13 Noviembre 2020. [En línea]. Available: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2021-01/Documento\\_Regulacion-ARCERNNR-002-20-Calidad-Distribucion.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2021-01/Documento_Regulacion-ARCERNNR-002-20-Calidad-Distribucion.pdf).
- [11] J. Seymour y T. Horsley, «Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico,» Schneider Electric, 2020.
- [12] A. Tecnológicas, 17 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://at3w.com/blog/nueva-normativa-internacional-de-dispositivos-de-proteccion-contrasobretensiones-temporales-o-permanentes-iec-63052/>.

- [13] J. Yusta, R. Dufo y J. Bernal, Tecnología eléctrica, Zaragoza: UNE, 2011, p. 126.
- [14] A. Escalada, «VOGAR,» 12 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://vogar.com.mx/blog/qu%C3%A9-hacer-si-hay-sobretensi%C3%B3n>.
- [15] G. LASSER, «Grupo LASSER,» 29 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://grupolasser.com/peligros-de-las-sobretensiones-en-nuestra-instalacion-electrica/>.
- [16] Selectra, 20 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://tarifasgasluz.com/faq/iga>.
- [17] Siemens, «Siemens,» 2019. [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/low-voltage/components/sentron-protection-devices/overvoltage-protection-devices.html>.
- [18] A. Tecnológicas, «Aplicaciones Tecnológicas,» 31 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://at3w.com/blog/proteccion-contrasobretensiones-encascada-y-coordinada-como-escalonar-la-proteccion/>.
- [19] Asenzo. [En línea]. Available: <https://asenzo.com/wp-content/uploads/2020/04/CO-BREAKERMATIC-Catalogo-Linea-Domesticos.pdf>.
- [20] J. Trashorras, Vehículos eléctricos, Madrid: Paraninfo, 2019, p. 193.
- [21] N. Mechatronics, «NAYLAMP Mechatronics,» 2017. [En línea]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/51\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html](https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html).
- [22] N. Mechatronics, «NAYLAMP Mechatronics,» 2019. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/393-transformador-de-voltaje-ac-zmpt101b.html>.
- [23] J. Autonell, J. Balcells, V. Barra, B. García, F. Fornieles y J. Brossa, Eficiencia en el uso de la Energía Eléctrica, Barcelona: Marcombo, 2010, p. 239.
- [24] EREDES, 2021. [En línea]. Available: <https://www.eredesdistribucion.es/es/inovgrid/sistema-telegestion/>.
- [25] I. S. Grid, «India Smart Grid Forum,» Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://indiasmartgrid.org/Advanced-Metering-Infrastructure.php>.
- [26] WITTENSTEIN, 2021. [En línea]. Available: <https://www.highintegritysystems.com/rtos/what-is-an-rtos/>.

- [27] FreeRTOS, «FreeRTOS,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.freertos.org/implementation/a00004.html>.
- [28] FreeRTOS, «FreeRTOS,» 2021. [En línea]. Available: [freertos.org/about-RTOS.html](https://www.freertos.org/about-RTOS.html).
- [29] AWS, «AWS,» 2022. [En línea]. Available: [https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/?nc1=f\\_cc](https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/?nc1=f_cc).
- [30] AWS, «AWS,» 2022. [En línea]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonECS/latest/developerguide/Welcome.html>.
- [31] G. LLC, «Flutter,» 11 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://flutter.dev/docs>.
- [32] Flutter, «Flutter Dev,» 2021. [En línea]. Available: <https://flutter.dev/docs/resources/architectural-overview>.
- [33] R. Singh, «Medium,» 21 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://medium.com/gradeup/mobile-development-approaches-and-flutter-architecture-flutter-part-i-a7e08838c97a>.
- [34] A. Zola, «TechTarget,» Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GPRS>.
- [35] TWILIO, «TWILIO,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.twilio.com/docs/glossary/what-general-packet-radio-service-gprs>.
- [36] SanDoRobotics, «SanDoRobotics,» 2019. [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/1187/>.
- [37] YHDC, «PowerRUC,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.poweruc.pl/products/split-core-current-transformer-sct019-rated-input-200a-rated-output-0-333v>.
- [38] BricoGeek, Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/sensores/1148-sensor-medidor-de-voltaje-hasta-25v-fz0430.html>.
- [39] E. Systems, «Espressif,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).
- [40] N. Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/133-modulo-bluetooth-40-ble-hm-10.html>.

- [41] Nettigo, «Nettigo,» 2018. [En línea]. Available: <https://nettigo.eu/products/sim800l-gsm-grps-module>.
- [42] Arduino, «Arduino Store,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>.
- [43] Arduino, «Arduino Store,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>.
- [44] FOTEK, «FOTEK,» [En línea]. Available: <https://www.fotek.com.tw/en-gb/product/802>.
- [45] Oumefar, «Huimu,» [En línea]. Available: [https://www.huimultd.com/INDUSTRIAL\\_SOLID-STATE-RELAY/MGR-H3200Z/](https://www.huimultd.com/INDUSTRIAL_SOLID-STATE-RELAY/MGR-H3200Z/).
- [46] HEYA/OEM, «Alibaba,» 2018. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/TDGC2-1KVA-Single-Phase-Voltage-Regulator-60777167259.html>.
- [47] P. Chiriboga, Abril 2019. [En línea]. Available: <https://moviles.info/frecuencias/ecuador/>.
- [48] MOVISTAR, «MOVISTAR,» Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.movistar.com.ec/mapa-de-coberturas>.
- [49] Amazon Web Services, «Amazon Web Services,» 2021. [En línea]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonECS/latest/developerguide/clusters.html>.
- [50] Lucidchart, «Lucidchart,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.lucidchart.com/pages/es/tutorial-de-diagrama-de-clases-uml>.
- [51] S. Electric, «Schneider Electric,» Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.se.com/es/es/product/A9A26500/bobina-de-protecci%C3%B3n-contra-sobretensiones-permanentes-imsu-uneen-50550/>.
- [52] Asenzo, «Asenzo,» 2018. [En línea]. Available: <https://asenzo.com/breakermatic-marca/#:~:text=Protectores%20robustos%20para%20la%20supervisi%C3%B3n,en%20ausencia%20de%20una%20fase..>
- [53] ARCONEL, 24 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/04/Informe-de-actividades-y-de-gesti%C3%B3n-2019-VF.pdf>.

## ANEXOS

### Anexo A: Sensor de Corriente SCT – 019

# SCT019



□ 19 mm × 19 mm  $\Phi$  Split core current transformer



### Characteristic

- Safety lock clasp, easy to install
- Leading wire output (0.5mm<sup>2</sup> Black and white twisted pair)
- Can be customized a variety of output
- Suspended type

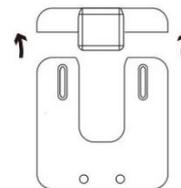
### Product application

- Portable instrument
- Household metering
- Monitor motor load

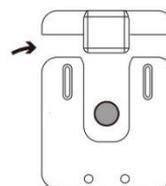
### Product advantage

- Small volume, Light weight
- Low cost
- High turns, High precision

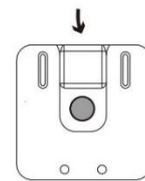
### Installation diagram



1. Open upward



2. Put in lead wire



3. Fasten

**Typical technical index:**

- Material of core——permalloy core
- Working voltage——Phase voltage $\leq 720V$
- Working temperature—— $-25^{\circ}C \sim +70^{\circ}C$
- Storage temperature—— $-40^{\circ}C \sim +85^{\circ}C$
- Frequency range—— $20Hz \sim 1KHz$
- Dielectric strength——output/shell AC 3.5KV/1min 5mA 50Hz
- Weight--91g

**Electrical parameters** (The following parameters are typical values. The actual values shall be subject to the actual measurement of the product)

**Can be made according to user requirements parameters**

Model	Input current	Output voltage	Turns ratio	Accuracy	sampling resistance	Lead specification/schematic diagram
SCT019	100A	33mA	1:3000	0.5%	10 $\Omega$	<p>Leading wire specification: 0.5mm<sup>2</sup> Black and white twisted pair lead length:200cm~202cm</p> <p>TVS Transient voltage suppressor(7.5V) current output type. the secondary is not allowed to open.</p>
SCT019	200A	33mA	1:6000	0.5%	20 $\Omega$	
SCT019	-	-	-	-	-	
SCT019	-	-	-	-	-	
SCT019	-	-	-	-	-	
SCT019	-	-	-	-	-	

Model	Input current	Output voltage	Accuracy	Load impedance	Lead specification/schematic diagram
SCT019	50A	0.333V	0.5%	$\geq 10K \Omega$	<p>Leading wire specification: 0.5mm<sup>2</sup> Black and white twisted pair lead length:200cm~202cm</p> <p>sampling resistance built-in voltage output type not allowed secondary short circuit</p>
SCT019	100A	0.333V	0.5%	$\geq 10K \Omega$	
SCT019	150A	0.333V	0.5%	$\geq 10K \Omega$	
SCT019	200A	0.333V	0.5%	$\geq 10K \Omega$	
SCT019	-	-	-	-	
SCT019	-	-	-	-	

## Anexo B: Sensor de Voltaje ZMPT101B

Qingxian Zeming Langxi Electronic

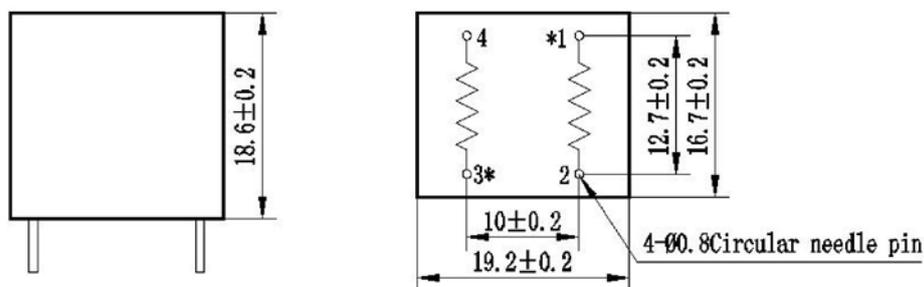
www.micro-transformer.com

### ZMPT101B

### Current-type Voltage Transformer

Small size, high accuracy, good consistency, for voltage and power measurement

Structural parameters:



Remarks: primary input: 1、2 pins secondary output: 3、4pins  
Or  
primary input:: 3、4 pins secondary output::1、2pins  
\*\*\* Same polarity

Front view

Bottom view

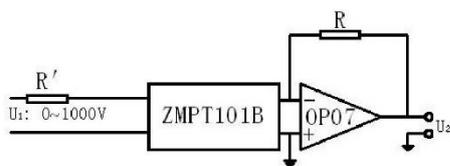
The main technical parameters:

Model	ZMPT101B
Rated input current	2mA
Rated output current	2mA
turns ratio	1000:1000
phase angle error	$\leq 20'$ (input 2mA, sampling resistor 100 $\Omega$ )
operating range	0~1000V 0~10mA (sampling resistor 100 $\Omega$ )
linearity	$\leq 0.2\%$ (20%dot~120%dot)
Permissible error	$-0.3\% \leq f \leq +0.2\%$ (input 2mA, sampling resistor 100 $\Omega$ )
isolation voltage	4000V
application	voltage and power measurement
Encapsulation	Epoxy
installation	PCB mounting (Pin Length>3mm)
Operating temperature	-40 $^{\circ}$ C~+60 $^{\circ}$ C
Case Material	ABS (Note: ABS CASE is NOT available for wave-soldering)

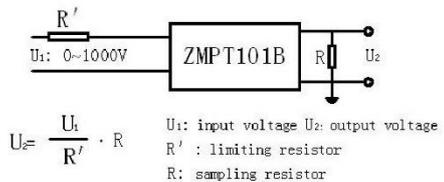
Tel: 86-25-52601870

E-mail: zm@zeming-e.com

**Direction for use:**



**Figure I**



**Figure II**

1. The typical usage of the product is for the active output (Figure I). R' is a limiting resistor, R is a sampling resistor.
2. The product can be directly through the resistance sampling, easy to use (Figure II).

## Anexo C: Placa ESP32

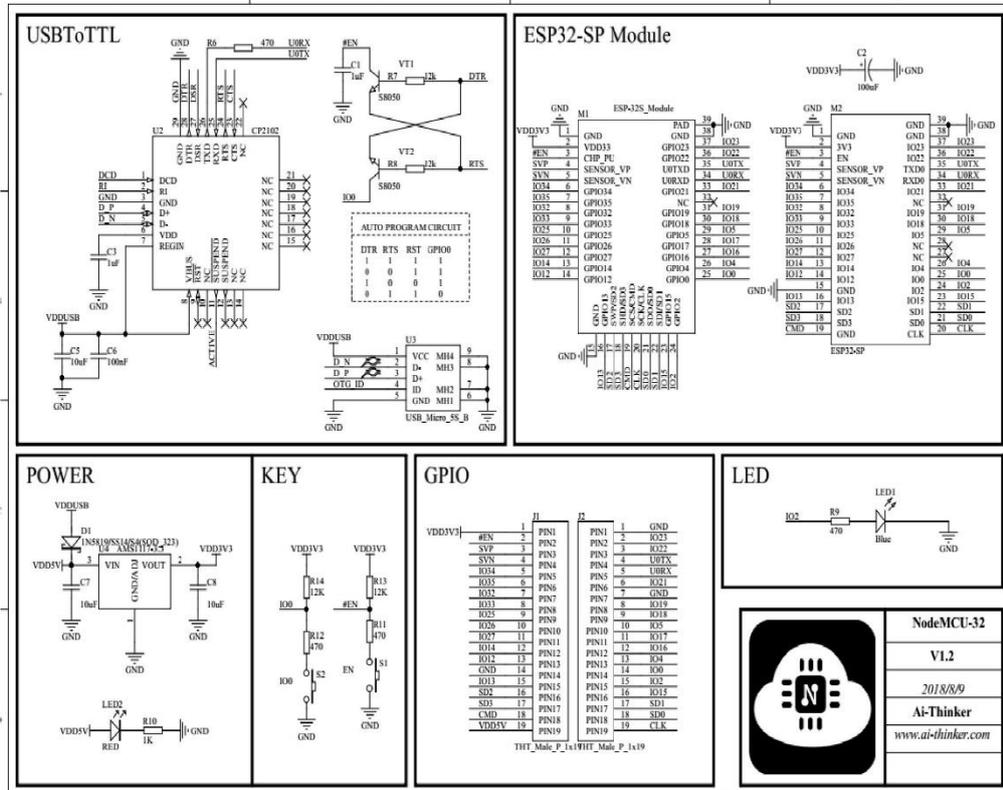
Table 2 pin function definition

No.	Pin Name	Functional Description
1	3.3V	Module power supply pin
2	EN	Chip Enabled Pin, Active High
3	SVP	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
4	SVN	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
5	P34	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
6	P35	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
7	P32	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768kHz Crystal input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
8	P33	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768kHz Crystal output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
9	P25	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
10	P26	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RX_DV
11	P27	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
12	P14	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS,

		HSPICLK, HS2_CLK,SD_CLK, EMAC_TXD2
13	P12	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2,SD_DATA2, EMAC_TXD3
14	GND	GND
15	P13	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3,SD_DATA3, EMAC_RX_ER
16	SD2	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
17	SD3	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
18	CMD	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
19	5V	Module power supply pin
20	CLK	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
21	SD0	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
22	SD1	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
23	P15	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD,SD_CMD, EMAC_RXD3
24	P2	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPIWP, HS2_DATA0,SD_DATA0
25	P0	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, CLK_OUT1, RTC_GPIO11, EMAC_TX_CLK; <b>Download mode:</b>

		<b>external pull low, running mode: floating or external pull high</b>
26	P4	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPIHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
27	P16	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
28	P17	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
29	P5	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
30	P18	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
31	P19	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
32	GND	GND
33	P21	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
34	RX	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
35	TX	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
36	P22	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
37	P23	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
38	GND	GND

### 3. Schematics



## Anexo C: SIM800L



### 1. Introduction

This document describes SIM800H&SIM800L hardware interface in great detail. The document can help customer to quickly understand SIM800H&SIM800L interface specifications, electrical and mechanical details. With the help of this document and other SIM800H&SIM800L application notes, customer guide, customers can use SIM800H&SIM800L to design various applications quickly.

### 2. SIM800H&SIM800L Overview

SIM800H&SIM800L is a quad-band GSM/GPRS module, that works on frequencies GSM850MHz, EGSM900MHz, DCS1800MHz and PCS1900MHz. SIM800H&SIM800L features GPRS multi-slot class 12/ class 10 (optional) and supports the GPRS coding schemes CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4.

With a tiny configuration of 17.8\*15.8\*2.4mm, SIM800H&SIM800L can meet almost all the space requirements in customer applications, such as smart phone, PDA and other mobile devices.

SIM800H&SIM800L is a LGA package with 88 pads, and provides all hardware interfaces between the module and customers' boards.

- Support 5\*5\*2 keypads
- One full modem serial port, customer can configure two serial ports
- One USB, the USB interfaces can debug, download software
- Audio channel which includes two microphone input; a receiver output and a speaker output
- Programmable general purpose input and output.
- A SIM card interface
- Support Bluetooth(only SIM800H)
- Support FM
- Support one PWM

SIM800H&SIM800L is designed with power saving technique so that the current consumption is as low as 1.04mA in sleep mode.

#### 2.1. SIM800H&SIM800L

Table 1: Module information

	SIM800H	SIM800L
GSM	850,900,1800 and 1900MHz	850,900,1800 and 1900MHz
BT	Support	Not support
FLASH	32Mbit	16Mbit
RAM	32Mbit	32Mbit

#### 2.2. SIM800H&SIM800L Key Features

Table 2: SIM800H&SIM800L key features

Feature	Implementation
Power supply	3.4V ~4.4V
Power saving	Typical power consumption in sleep mode is 1.04mA (BS_PA_MFRMS=9)

Frequency bands	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Quad-band: GSM 850, EGSM 900, DCS 1800, PCS 1900. SIM800H&amp;SIM800L can search the 4 frequency bands automatically. The frequency bands can also be set by AT command "AT+CBAND". For details, please refer to <i>document [1]</i>.</li> <li>● Compliant to GSM Phase 2/2+</li> </ul>
Transmitting power	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Class 4 (2W) at GSM 850 and EGSM 900</li> <li>● Class 1 (1W) at DCS 1800 and PCS 1900</li> </ul>
GPRS connectivity	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GPRS multi-slot class 12 ( default )</li> <li>● GPRS multi-slot class 1~12 (option)</li> </ul>
Temperature range	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Normal operation: -40°C ~ +85°C</li> <li>● Storage temperature -45°C ~ +90°C</li> </ul>
Data GPRS	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GPRS data downlink transfer: max. 85.6 kbps</li> <li>● GPRS data uplink transfer: max. 85.6 kbps</li> <li>● Coding scheme: CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4</li> <li>● PAP protocol for PPP connect</li> <li>● Integrate the TCP/IP protocol.</li> <li>● Support Packet Broadcast Control Channel (PBCCH)</li> <li>● CSD transmission rates: 2.4, 4.8, 9.6, 14.4 kbps</li> </ul>
CSD	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Support CSD transmission</li> </ul>
USSD	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Unstructured Supplementary Services Data (USSD) support</li> </ul>
SMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>● MT, MO, CB, Text and PDU mode</li> <li>● SMS storage: SIM card</li> </ul>
SIM interface	Support SIM card: 1.8V, 3V
External antenna	Antenna pad
Audio features	Speech codec modes: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Half Rate (ETS 06.20)</li> <li>● Full Rate (ETS 06.10)</li> <li>● Enhanced Full Rate (ETS 06.50 / 06.60 / 06.80)</li> <li>● Adaptive multi rate (AMR)</li> <li>● Echo Cancellation</li> <li>● Noise Suppression</li> </ul>
Serial port and debug port	<b>Serial port:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Default one Full modem serial port</li> <li>● 1200bps to 460800bps.</li> <li>● Can be used for AT commands or data stream.</li> <li>● Support RTS/CTS hardware handshake and software ON/OFF flow control.</li> <li>● Multiplex ability according to GSM 07.10 Multiplexer Protocol.</li> <li>● Autobauding supports baud rate from 1200 bps to 115200bps.</li> <li>● upgrading firmware</li> </ul> <b>Debug port:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● USB_DN and USB_DP</li> <li>● Can be used for debugging and upgrading firmware.</li> </ul>
Phonebook management	Support phonebook types: SM, FD, LD, RC, ON, MC.
SIM application toolkit	GSM 11.14 Release 99
Real time clock	Support RTC