

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de sistema SCADA de las interrupciones de energía en áreas
aisladas.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Miguel Matías Arellano Soto

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a mi pareja, Andrea, quien me vio llorar y reír, quien me alentó a nunca rendirme por más difícil que fuera la situación. Alegrándome el día con una sonrisa, una charla o simplemente estando a lado mío. Está dedicado a mi papá, Pablo, quien siempre se preocupó de proveerme lo necesario para yo seguir adelante, cuando cocinaba, lavaba platos o lavaba ropa aun con el cansancio y hambre de un largo y agotador día.

Ellos son figuras claves en mi formación académica y ahora, profesional. Siempre me dan aliento y soporte cuando necesito y cuando ni siquiera es necesario.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mis tutores en la carrera, Miguel, Sara, quienes me dieron una valiosa guía y valiosos consejos. Agradezco con ahínco a mis amigos que hice a lo largo de la carrera con quienes aprendí y me divertí. Agradezco con mi más sincero aprecio a los “Controleros”, un grupo inolvidable de personas en las que puedo depositar mi entera confianza y seguridad, pues, nunca me han demostrado lo contrario. Agradezco a mis suegros y mi cuñado, Carlos, Martha, Andrés, que siempre me brindaron una mano cálida y un hogar. Por último, agradezco a mis mascotas más amadas, Micha y Hera, una gatita y una perrita que siempre llevaré en mi corazón.

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Miguel Matías Arellano Soto acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.



Miguel Matías Arellano Soto

EVALUADORES

.....
Ing. Efrén Herrera, Ph. D.

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
MSc. Sara Ríos

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un sistema de monitorización en tiempo real para la detección de interrupciones eléctricas en zonas aisladas del Ecuador mediante la implementación de un dispositivo basado en el módulo ESP32-WROOM. El sistema integra capacidades de monitoreo remoto a través de SCADA y geolocalización, ofreciendo una solución técnicamente robusta y económicamente viable para infraestructuras con topología en estrella. La arquitectura hardware incorpora un sistema de alimentación dual con respaldo energético, alcanzando una autonomía de 71 días mediante una batería de 12V/7Ah y optimización por Deep Sleep.

La implementación incluye mapas geoespaciales interactivos que facilitan la visualización del estado operativo de la red eléctrica mediante codificación cromática. Los resultados demuestran un ROI del 400% con proyecciones de ahorro anual de \$75 por dispositivo instalado, validando su viabilidad para implementación masiva en regiones con recursos limitados. El sistema representa una innovación significativa en la gestión de infraestructura eléctrica crítica, estableciendo un nuevo paradigma en la monitorización de redes eléctricas aisladas.

Palabras clave: Monitoreo energético, SCADA, ESP32, Deep Sleep, Geolocalización, Sistema de respaldo.

ABSTRACT

This work develops a real-time monitoring system for detecting electrical interruptions in isolated areas of Ecuador through the implementation of a device based on the ESP32-WROOM module. The system integrates remote monitoring capabilities through SCADA and geolocation, offering a technically robust and economically viable solution for infrastructures with star topology. The hardware architecture incorporates a dual power system with energy backup, achieving 71 days of autonomy through a 12V/7Ah battery and Deep Sleep optimization.

The implementation includes interactive geospatial maps that facilitate the visualization of the power grid's operational status through chromatic coding. Results demonstrate a 400% ROI with annual savings projections of \$75 per installed device, validating its viability for massive implementation in regions with limited resources. The system represents a significant innovation in critical electrical infrastructure management, establishing a new paradigm in isolated electrical network monitoring.

Keywords: *Energy monitoring, SCADA, ESP32, Deep Sleep, Geolocation, Backup system*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
CAPÍTULO 1	15
1. Introducción	15
1.1 Descripción del problema	15
1.2 Justificación del problema	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo General	17
1.3.2 Objetivo Específico	17
1.4 Marco teórico	17
1.4.1 Fundamentos de Redes Eléctricas y Distribución de Energía	17
1.4.2 Aporte principal del módulo ESP32-WROOM	20
1.4.3 Monitoreo con SCADA	20
1.4.4 Viabilidad Económica	23
CAPÍTULO 2	25
2. Metodología	25
2.1 Programación	26
2.1.1 Credenciales	26
2.1.2 Monitoreo de la energía	26

2.1.3	Monitoreo del internet	27
2.1.4	Conexión y publicación al Broker MQTT	27
2.2	Circuito electrónico	28
2.2.1	Circuito de Rectificación	28
2.2.2	Circuito de Aislamiento y Circuito de Regulación	28
2.2.3	Circuito de Alimentación Auxiliar y Conmutación Automática	29
2.2.4	Consideraciones	29
2.3	Comunicación	30
2.3.1	Configuración de credenciales y Enlace Seguro	30
2.3.2	Justificación de la Selección de EMQX	30
2.3.3	Instalación y Configuración de Módulos en Ignition SCADA	31
2.3.4	Organización de Tópicos y Escalabilidad	31
2.4	Diseño SCADA	32
2.4.1	Módulo Perspective	32
2.4.2	Uso de los Scripts en la Programación de la Interfaz	32
2.4.3	Pantalla 1: Mapa Geoespacial para Monitoreo de la Energía	34
2.4.4	Pantalla 2: Mapa Geoespacial para Monitoreo de Internet	35
2.4.5	Pantalla 3: Dashboard de Alarmas Clave	36
CAPÍTULO 3		37
3.	Diseño, Resultados Y Análisis	37
3.1	Diseño de la PCB y Programación para la Detección de Energía	37
3.2	Implementación del Modo Deep Sleep en la ESP32	38
3.2.1	Cálculo de Consumo y Optimización Energética	38
3.2.2	Consideraciones de Diseño y Resultados Obtenidos	39
3.3	Mapa Geoespacial para el Monitoreo de Energía y Estabilidad	39
3.3.1	Mapa Geoespacial para el Monitoreo de Internet	40
3.3.2	Interpretación y Análisis de los Resultados	42

3.4	Viabilidad Económica	43
3.4.1	Costos de Componentes y Materiales	43
3.4.2	Costos Adicionales	45
3.4.3	Análisis de Proyecciones de Ahorro	45
3.4.4	Recuperación de inversión	46
CAPÍTULO 4		47
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	47
4.1	Conclusiones	47
4.2	Recomendaciones	48
BIBLIOGRAFÍA		50
APENDICES		52
APENDICE A		52
APENDICE B		55
APENDICE C		57
APENDICE D		59

ABREVIATURAS

SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Móviles).
SMS	Short Message Service (Servicio de Mensajes Cortos).
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (Transistor de Efecto de Campo de Semiconductor de Óxido Metálico).
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport (Transporte de Telemetría mediante Cola de Mensajes).
HTTP	HyperText Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Hipertexto).
IoT	Internet of Things (Internet de las Cosas).
SSID	Service Set Identifier (Identificador del Conjunto de Servicios, utilizado para redes Wi-Fi).
SSL	Secure Sockets Layer (Capa de Conexión Segura).
NTP	Network Time Protocol (Protocolo de Tiempo de Red).
JSON	JavaScript Object Notation (Notación de Objetos de JavaScript).
GPIO	General-Purpose Input/Output (Entradas/Salidas de Propósito General).
PCB	Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impreso).
RTC	Real-Time Clock (Reloj en Tiempo Real).

SIMBOLOGÍA

DC	Corriente directa
AC	Corriente alterna
V	Voltios
A	Amperios
Ω	Ohmios
Ah	Amperios por hora
μ A	Microamperios
mA	Miliamperios
Wh	Vatios por hora
\$	Dólar estadounidense
€	Euro

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Ejemplo de mapa SCADA.....	23
Ilustración 2 Diagrama de Bloques Principal	25
Ilustración 3 Diagrama de Bloques de la Lógica Interna.....	26
Ilustración 4 Variables afectadas después del <i>Parsing</i>	34
Ilustración 5 Circuito de Regulación de Voltaje.....	37
Ilustración 6 Circuito Convertido de Voltaje DC - DC.....	39
Ilustración 7 Mapa Descriptivo de la Estabilidad de la Energía	40
Ilustración 8 Mapa Descriptivo de la estabilidad del Proveedor de Internet	41
Ilustración 9 Tabla de Alarmas Principal	42
Ilustración 10 Implementación de la placa PCB.....	42
Ilustración 11 Circuito Esquemático Completo del Equipo	52
Ilustración 12 Lista de Componentes según el Software KiCad para elaboración de placas y circuitos eléctricos	53
Ilustración 13 Pistas de la placa PCB diseñada.....	53
Ilustración 15 Tópicos a los que está suscrito el dispositivo.....	55
Ilustración 16 Función Creación de Mensaje de Internet.....	55
Ilustración 17 Función de Creación de Mensaje de Energía	56
Ilustración 18 Creación de Credenciales, Publicadores y Suscriptores de los tópicos ..	57
Ilustración 19 Número de Dispositivos Conectados al Broker MQTT, además de parámetros tales como los datos utilizados en la transmisión de mensaje.	57
Ilustración 20 Configuración de Local Gateway de Ignition para la Conexión Exitosa con el Broker MQTT	58
Ilustración 21 Creación de Namespaces con los que se Suscribirá a Tópicos	58
Ilustración 22 Resultados de la Comunicación entre el Dispositivo ESP32 y el Programa Ignition	59
Ilustración 23 Parte del Script con el cuál se Realiza el <i>Parsing</i> de Variables.....	59
Ilustración 24 Diseño del Mapa Dinámico Basado en la Longitud y Latitud	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Promedio de comunidades rurales con topología estrella y anillo.....	19
Tabla 1 Comparación de protocolos de comunicación MQTT vs HTTP	21
Tabla 3 Comparación de características entre dispositivos comerciales	23
Tabla 4 Tabla de costos de Componentes y Materiales	44

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El sistema eléctrico de Ecuador enfrenta el desafío de garantizar un suministro de energía estable y confiable en áreas que, debido a su topología de conexión, tienen pocas alternativas para la recepción de electricidad. Ante esta problemática, surge la necesidad de un dispositivo que no solo detecte estas interrupciones, sino que también envíe notificaciones automáticas y proporcione un monitoreo remoto. Este proyecto busca desarrollar una solución accesible y de bajo costo que permita detectar cortes de energía y generar alertas mediante sistemas de monitoreo SCADA, enviando notificaciones a través de correos electrónicos y otros sistemas de alarma. Para cumplir estos objetivos, el dispositivo debe detectar de manera inmediata cualquier interrupción en el suministro, contar con integración a sistemas de monitoreo remoto, ofrecer escalabilidad para adaptarse a zonas amplias y, fundamentalmente, mantener un costo accesible (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS et al., 2024a).

Además, el sistema debe contar con energía de respaldo para funcionar durante los cortes prolongados y debe ser resistente a condiciones medioambientales adversas. Por lo tanto, las variables de interés incluyen la frecuencia y duración de los cortes de energía, el tiempo de respuesta de las alarmas y el costo total de implementación y mantenimiento del dispositivo, lo cual permitirá evaluar su sostenibilidad y su impacto en comunidades con recursos limitados. La versatilidad del proyecto que se plantea es amplia y muy distribuida debido a que la detección de cortes de energía es útil tanto para clientes residenciales, comerciales e industriales, tanto en áreas urbanas, pero por sobre todo en áreas rurales.

En el mercado existen ya algunas opciones que ofrecen detección de cortes de energía, aunque presentan ciertas limitaciones. La alarma GSM por corte de energía, disponible por aproximadamente €84, notifica mediante mensajes de texto y llamadas a teléfonos designados en caso de un corte, pero no incluye opciones de integración con sistemas SCADA, limitando su uso en aplicaciones de monitoreo amplio o en tiempo real. El sensor de corte de energía Elecbee, cuyo precio es de

\$84,50, ofrece una señal de conmutación para activar alarmas o dispositivos de respaldo, aunque tampoco cuenta con opciones de comunicación de larga distancia, como SMS, ni integración con monitoreo remoto. Por su parte, el detector de MySpool, a un precio de \$150, puede detectar cortes de energía e interrupciones de internet, y envía alertas en tiempo real mediante Wi-Fi a través de notificaciones por correo electrónico y mensajes push. Sin embargo, este dispositivo tampoco presenta un registro los eventos o interrupciones ocurridos ni presentar mapas de monitoreo en tiempo real(AlarmaMMS, s/f; ELECbee, 2017; MySpool, 2024).

El dispositivo propuesto busca mejorar las limitaciones observadas en los productos disponibles, al ofrecer un sistema de conectividad adaptable, con integración a SCADA, y una opción de notificación que opere bajo condiciones de baja conectividad, permitiendo así una implementación a bajo costo en el contexto ecuatoriano.

1.2 Justificación del problema

La implementación de un sistema de detección de cortes de energía en Ecuador es fundamental, tanto en sectores empresariales como en comunidades rurales. En un contexto de crisis energética nacional, los cortes de luz afectan directamente a la operatividad de empresas e industrias, especialmente aquellas que dependen de la estabilidad energética para sus procesos continuos y productivos. Las zonas con topología en anillo, como Pascuales, Nueva Prosperina, Santo Domingo, y Quevedo, cuentan con mayor seguridad en la continuidad del suministro debido a su configuración redundante, lo cual permite redirigir el flujo de electricidad en caso de fallas. No obstante, el alto coste de los dispositivos de monitoreo en estos sistemas limita su adopción en todo el país, especialmente en sectores rurales y zonas remotas donde la implementación masiva es inasequible(MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS et al., 2024a).

Por otro lado, las áreas con topología en estrella, como Guamote y Colta en Chimborazo o las zonas rurales de Portoviejo en Manabí, dependen de una red más simple y menos redundante. Este diseño, aunque adecuado para la distribución a localidades dispersas, es más vulnerable a fallos, ya que una interrupción en un nodo principal afecta a todas las conexiones derivadas, dificultando la reanudación rápida del servicio. Las comunidades rurales, que además de enfrentar condiciones de aislamiento geográfico también poseen

limitados recursos económicos, suelen quedar indefensas ante los cortes de energía prolongados, lo que impacta directamente en la agricultura, el comercio local, y la vida diaria(MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS et al., 2024a).

La propuesta de un dispositivo asequible basado en el módulo ESP32-WROOM, que detecta cortes de luz y envía alertas mediante sistemas como correos electrónicos o programas de monitoreo, se presenta como una solución viable y escalable. A diferencia de los dispositivos comerciales de mayor coste, este sistema permitiría una implementación más amplia y accesible, particularmente en las zonas de topología en estrella, donde las fallas en la red tienen mayor repercusión. En el sector empresarial, el monitoreo automatizado de la energía en tiempo real optimizaría la toma de decisiones y la asignación de recursos para la solución de fallas, contribuyendo a reducir las pérdidas económicas derivadas de las interrupciones. Este proyecto representa un paso hacia la resiliencia energética en Ecuador, brindando beneficios tangibles tanto para empresas como para comunidades rurales vulnerables.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un dispositivo mediante el módulo ESP32 que detectará cuando en un punto aislado se corta el suministro de energía o la conexión a internet generando distintas alertas y presentando reportes para su solución inmediata.

1.3.2 Objetivo Específico

- Implementar un circuito de aislamiento del voltaje de baja tensión y detección de cortes de energía.
- Realizar conexiones con servidores y programas con los que se establezca un sistema de alarmas automáticas.
- Diseñar pantallas SCADA con la presentación de mapas de monitoreo de las zonas destinadas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Fundamentos de Redes Eléctricas y Distribución de Energía

La principal infraestructura es la transmisión y distribución de energía. En el Ecuador está diseñado un plan maestro de electrificación de las centrales

de generación a los usuarios o compatriotas. Así mismo, existen diferentes topologías de red que dan solución a las necesidades críticas según el contexto y la ubicación de abastecimiento.

Las comunidades rurales son los agentes que toman participación de peor manera, ya que, su diversificación energética depende específicamente de su desnivel geográfico por lo que la topología es escogida según el mapa físico de la zona.

A continuación, se explicarán las topologías y su impacto en el Ecuador.

1.4.1.1 Topología en Estrella

Esta distribución es una configuración por la que el cliente está conectado directamente a una fuente de energía centralizada, como una estación de generación eléctrica. Es una topología centrada en el ahorro económico ya que la implementación y diseño es sencillo evitando conexiones redundantes.

1.4.1.2 Topología en Anillo

En esta topología se diseña un circuito cerrado, permitiendo un continuo suministro de energía aun cuando se produce un corte de energía. Esto aumenta la confianza en el sistema de distribución energética pues si una línea falla está su contraparte en paralelo que sigue suministrando la energía.

1.4.1.3 Comparativa de comunidades rurales por topología

Aquí se muestra un cuadro comparativo acerca de la cantidad de comunidades rurales en el País mediante los tipos de topologías (Oscar Mauricio Sigüencia Sigüenza, 2017). Este enfoque da pie a una selección de alternativas que busquen adaptarse a la realidad ecuatoriana en sectores de difícil acceso teniendo en cuenta la caída de tensión permita, la dispersión de las viviendas, la demanda mínima de energía y recursos totalmente disponibles. En diferentes papers se utiliza la metodología “Value Focused Thinking (VFT)” que resulta exacta para estructurar y analizar objetivos sobre una evaluación comparativa de las topologías (Oscar Mauricio Sigüencia Sigüenza, 2017).

Tabla 1 Promedio de comunidades rurales con topología estrella y anillo

Topología	Cantidad de Comunidades Rurales Abastecidas	Ejemplos de comunidades
Estrella	55 comunidades rurales	Comunidad La Esperanza (Quito) Comunidad San Luis (Chimborazo)
Anillo	32 comunidades rurales	Comunidad Juan Gómez Rendón (El Progreso en Gye) Comunidad Santa María del Toachi (Santo Domingo de los Tsáchilas)

1.4.1.4 Mantenimiento de redes eléctricas en zonas rurales

Un problema principal en la distribución eléctrica en las áreas rurales es la exposición a las fallas que afectan su funcionalidad. Los eventos más comunes son fracturas, corrosión, descargas eléctricas, desgaste o incluso cables deformados. Estas fallas tienen una alta relevancia si se tiene previsto un sistema de mantenimiento integral que abarque no solo el cableado, sino que incluya equipos como interruptores, tableros, transformadores de distribución ya que, si tenemos el objetivo de reducir la incidencia de interrupciones no basta con avisar de las fallas, hace falta corregir el problema para mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico (BR. David Arteaga Quintos, 2019; MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS et al., 2024b). Todos estos detalles, aunque ahora resulten poco útiles, a futuro en nuevos desarrollos o mejoras pueden tomar importancia debido a su directo impacto (BR. David Arteaga Quintos, 2019; MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS et al., 2024b).

1.4.1.5 Eficiencia energética en zonas rurales de Ecuador

Si se habla de la eficiencia hay que poner en tela de juicio la implementación de programas o planes energéticos con los cuales reducir el consumo eléctrico y así beneficiar a los ciudadanos. Para esto el proyecto tiene como beneficio adyacente proporcionar un aporte en su eficiencia del servicio al proporcionar información en tiempo real acorde al Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2025 que establece diversas acciones en sectores estratégicos. Esto ha contribuido que su uso sea de manera sustentable para así incluir la generación de energías renovables (BR. David Arteaga Quintos, 2019; Muñoz Chumo Edwin Adrián et al., 2018).

1.4.2 Aporte principal del módulo ESP32-WROOM

El módulo ESP32-WROOM será alimentado principalmente a través de baja tensión para evitar el gasto de la batería de 12V que funcionará como alimentación auxiliar. Este circuito funcionará a través de un circuito rectificador que pueda transformar la corriente alterna en una como corriente continua de 3.3V que alimente al módulo y cuando se vaya la luz entre en funcionamiento mediante un transistor MOSFET, este circuito auxiliar funciona mediante un regulador Buck que reduce el voltaje de la batería de manera no lineal.

La arquitectura de bajo consumo y la capacidad para manejar distintas entradas y fuentes de datos vuelven a la ESP32 en una solución ingeniosa para registrar y detectar eventos en tiempo real. En este proyecto gestionará variaciones de tensión, cortes de luz y fallos de conexión y generando una emisión de alertas precisa y rápida frente cualquier anomalía.

Además, por tener una naturaleza adaptable vuelve el proyecto en un multipropósito y considerando una escalabilidad de alto valor y de alto impacto tanto comercial como social.

1.4.3 Monitoreo con SCADA

El sistema SCADA propuesto busca comunicarse con protocolos de comunicación como MQTT o HTTP que son utilizados para facilitar la transmisión de datos a través de redes inalámbricas, lo que resulta ideal

para las ubicaciones de difícil acceso. Esta metodología proporciona una versatilidad al proyecto propia de operar en zonas donde la infraestructura de comunicación cableada es inexistente o poco confiable. De esta manera es posible mantener un monitoreo constante de la red en zonas remota esencial para una gestión inteligente de la energía (PABLO ANDRÉS WEBER CORNEJO, 2011).

A continuación, se va a comparar los dos métodos de comunicación más comunes en la industria y aplicaciones IoT.

Tabla 2 Comparación de protocolos de comunicación MQTT vs HTTP

	MQTT	HTTP
Tipo de protocolo	Mensajería ligera	Transferencia de hipertexto
Orientación	Basado en eventos	Basado en solicitud-respuesta
Conexión	Conexión persistente y mantenida	Requiere nueva conexión por solicitud
Uso principal	Comunicaciones M2M o IoT	Transferencia de datos web
Soporte de QoS	Permite varios niveles	No proporciona niveles
Seguridad	TLS/SSL	HTTPS
Fiabilidad	Confirmación de entrega y reintentos automáticos	Menos confiable por su naturaleza
Escalabilidad	Alta, diseñado para redes de muchos dispositivos	Menos escalable para IoT
Latencia	Baja, mantiene conexión abierta	Media, requiere creación de una nueva conexión
Protocolos de transporte	TCP/IP, aunque puede usar otros.	TCP/IP, aunque puede usar otros.
Soporte de Push	Notificación de eventos mediante publicación	Requiere un mecanismo adicional
Escenario ideal	Aplicaciones IoT	Navegación web, Aplicaciones cliente-servidor.
Desempeño en redes móviles	Mejor rendimiento	Puede ser susceptible a interrupciones o latencia.

De las ventajas más significativas que otorga un sistema SCADA es el monitoreo a largas distancias. La tecnología IoT y su integración al proyecto permite una operación de una unidad centralizada dedicada a la recepción de datos de múltiples dispositivos distribuidos a lo largo de la red eléctrica. Este enfoque facilita el monitoreo en tiempo real, permitiendo así que la identificación de fallos o intermitencias en la conectividad sea inmediata. Con esto busca mejorar la capacidad de respuesta ante eventos inesperados y mejorando la gestión de recursos energéticos disponibles (A. K. Myint et al., 2021; PABLO ANDRÉS WEBER CORNEJO, 2011; Villamar Tandazo & Buenaventura Jiménez, 2022).

1.4.3.1 Ciberseguridad y Eficiencia

En cuanto a la ciberseguridad, si hablamos sobre un sistema SCADA que monitoreo eventos como cortes de energía o intermitencias en la conexión a internet, no podemos dejar de lado las medidas de protección robustas para garantizar la integridad de los datos prestados. Aunque en este proyecto no se desarrollan directamente, se reconoce la importancia de las tecnologías cibernéticas como OpenVPN y OpenSSL(PABLO ANDRÉS WEBER CORNEJO, 2011). Una OpenVPN es una capa adicional de seguridad en redes privadas virtuales, mientras que OpenSSL es una seguridad en el cifrado de la información sensible, previniendo accesos no autorizados que podrían comprometer el sistema (PABLO ANDRÉS WEBER CORNEJO, 2011).

1.4.3.2 Beneficios para el mantenimiento predictivo

La visualización de mapas mediante Google Earth juega un papel fundamental en el seguimiento y gestión de los cortes de energía o desconexión de internet. Esto proporciona al usuario una vista clara y detallada de la ubicación de los puntos críticos en la red, además, que proporciona registros de la hora exacta en la que ocurrió el evento y su duración hasta la reconexión(A. K. Myint et al., 2021; Villamar Tandazo & Buenaventura Jiménez, 2022).

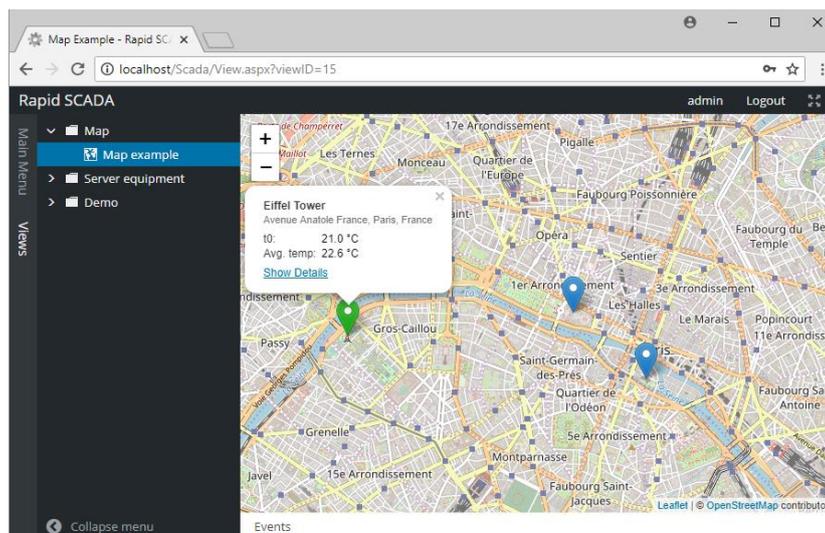


Ilustración 1 Ejemplo de mapa SCADA

1.4.4 Viabilidad Económica

En la siguiente tabla se puede observar los diferentes dispositivos de otras marcas comerciales que cumplen una función en especial que es la de detectar los cortes de luz. Sin embargo, hay algo que todas las marcas no llegan a ofrecer y es una detección de la desconexión a internet o un enlace a una plataforma de monitoreo, o incluso una interfaz gráfica con la cual ver las variables que control.

Tabla 3 Comparación de características entre dispositivos comerciales

Marca	Precio venta al público (PVP)	Tipo de alerta	Objetivo principal
ALARMAMMS	\$84,00	SMS y llamadas	Cámaras frigoríficas, etc.
ELECbee	\$89,59	Remota GSM o SMS	Máquinas de comunicación.
Delta Dore	\$90,75	Personas prerregistradas en el transmisor	Sin especificar
MySpool	\$150.00	SMS y notificación email	Uso domiciliario

Comparando todos estos dispositivos con el proyecto se puede observar una clara diferencia. Pues este dispositivo inédito permite integración con

plataformas SCADA, además de notificaciones mediante correo electrónico, SMS, y aparte una recopilación de datos en tiempo real, de manera que gestiona eventos de manera centralizada. Además, tiene una versatilidad superior, ya que, debido a su característica reprogramable puede adaptarse a cualquier entorno, ya sea industrial petrolero, agricultura, minería, comercial. Todo sin mencionar su capacidad de mantenerse encendido por la alimentación auxiliar que posee.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La imperiosa necesidad de supervisar parámetros esenciales de manera remota en sistemas de difícil acceso, tal como la disponibilidad de electricidad o internet en zonas geográficas determinadas, genera un reto muy complejo para una solución confiable, sencilla, amigable y con escalabilidad. Para ello, nace la necesidad de un dispositivo con la posibilidad a recopilar datos en tiempo real y poder presentarlos mediante un diseño SCADA a través de mapas geoespaciales, con la señalización de puntos o sectores que muestren las interrupciones en el servicio de internet o energía.

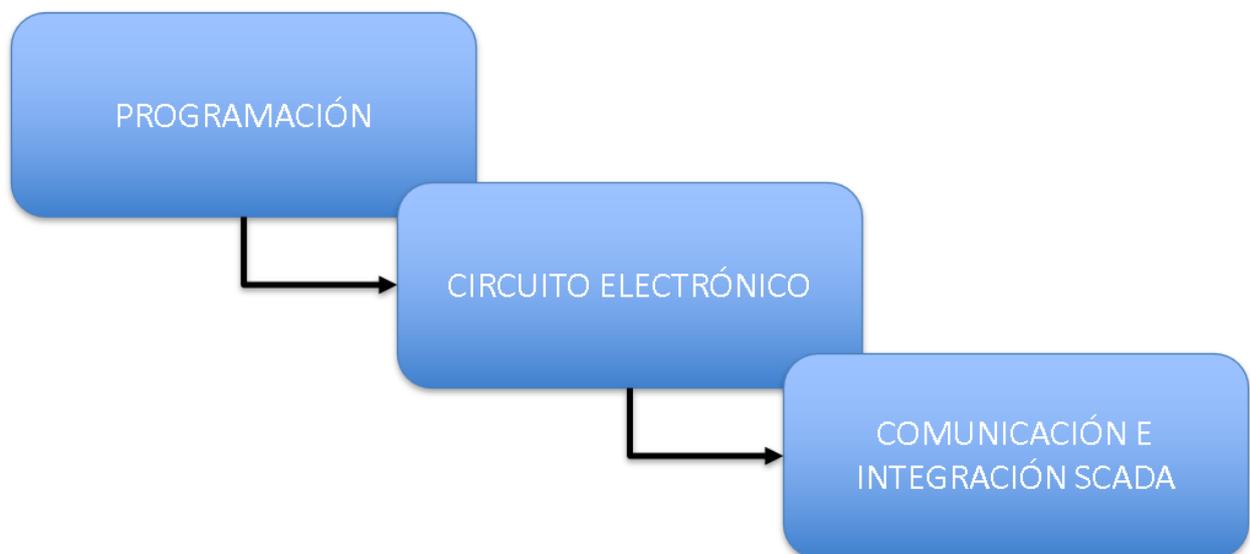


Ilustración 2 Diagrama de Bloques Principal

El proyecto se contempló como un diseño que pueda abarcar etapas de hardware, software y la comunicación. Con este fin en mente el primer paso fue programar un módulo de ESP32, con el fin de la gestión lógica de las alarmas y configurada para un ahorro de energía inteligente, además del enlace comunicacional con el bróker de MQTT. El segundo paso fue el diseño de prototipado de hardware con énfasis en la detección de corte de suministro y la conversión de energía DC – DC mediante un integrado LM2595. Por último, se implementó un sistema SCADA gracias a

Ignition que a su vez está enlazado al bróker con su debida configuración de *topics*, usuarios y la integración de los mapas geoespaciales.

2.1 Programación

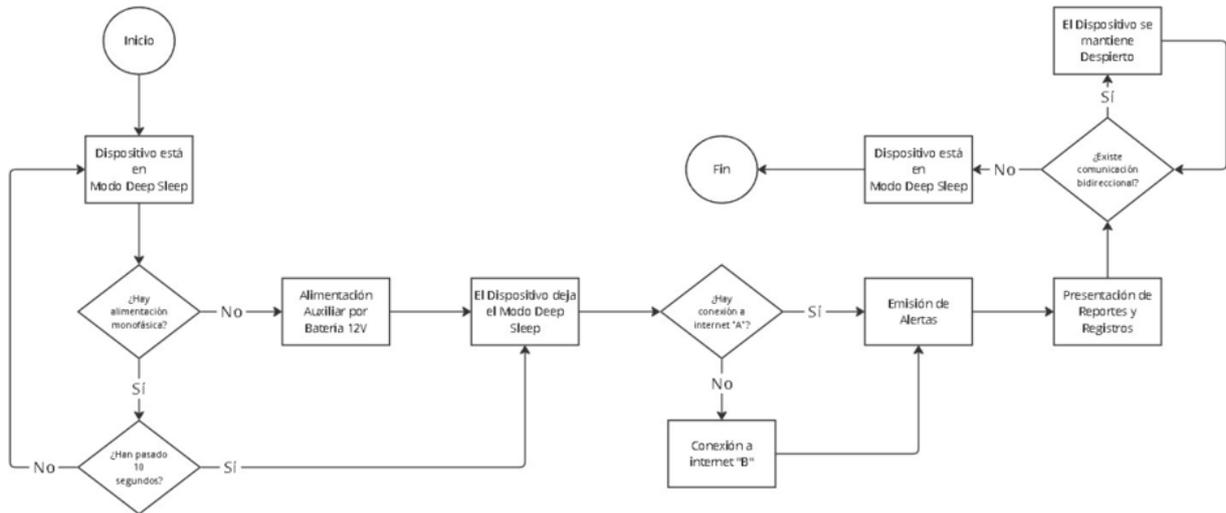


Ilustración 3 Diagrama de Bloques de la Lógica Interna

2.1.1 Credenciales

Para empezar, hay que definir las credenciales que son necesarias para establecer una conexión mediante WIFI entre el dispositivo ESP32 y el bróker MQTT. Con el fin de generar una conexión robusta se diseñan dos redes inalámbricas provenientes de distintos proveedores de internet. A estas redes se les denominará “Proveedor A” y “Proveedor B”, cabe aclarar que cada una tiene su correspondientes SSID y contraseña. Se diseña esta redundancia que permite que siempre haya una conexión estable en caso de pérdida de la red principal.

Ahora, los parámetros del bróker MQTT como un servidor es establece mediante el puerto SSL 8883, además de las credenciales para acceder al usuario designado en el bróker, con su respectivo certificado de seguridad, que asegura la comunicación cifrada.

2.1.2 Monitoreo de la energía

El *SetUp* del programa está diseñado para operar de manera eficiente de modo que abarque aspectos primordiales. Se utilizó el modo cliente (*WIFI_STA*) que habilita la búsqueda de redes y permite una reconexión

automática en caso de fallos. En adición, se pensó en la implementación de un servidor NTP con lo que es posible sincronizar la hora, esto debido a la necesidad imprescindible de llevar a cabo un registro preciso con los cortes y/o restauraciones tanto de energía como de internet.

También se inicializó el cliente MQTT, en donde se integra el certificado de seguridad otorgado por el bróker. A este certificado se le denominará *CA Certificate*. Fue muy importante también implementar una API que permita la geolocalización y saber las coordenadas del dispositivo al conectarse a internet, por lo tanto, los datos de la hora, fecha y coordenadas serán incluidos en el reporte final (Atmoko et al., 2017; Kawaguchi & Bandai, 2019).

Por último, una de las partes más representativas es la optimización de la energía utilizada por el dispositivo mediante el uso del modo de hibernación *Deep Sleep*, con el que se minimiza el consumo energético. Esto permite que solo gestione el uso de las interrupciones físicas o temporizadores con las que el dispositivo salga del modo de hibernación. Con este ahorro de energía se logró que la batería propuesta 12V y 7Ah, presente su mayor duración.

2.1.3 Monitoreo del internet

La programación fue pensada con la finalidad de un seguimiento ininterrumpido del estado de la energía eléctrica y continuidad de la conexión a internet. Para ello los mensajes enviados tendrán una estructura con la cual sea fácil acceder a ellos por el portal SCADA de conveniencia. Los mensajes que genera el sistema son empaquetados por el formato JSON y posteriormente se envían a los tópicos que corresponde a cada uno. Este proceso abre las puertas a un monitoreo de la electricidad en el sector, así como del internet dependiendo de sus fuentes.

2.1.4 Conexión y publicación al Broker MQTT

La publicación y conexión con el bróker se realiza de forma automática garantizada por los comandos al inicio del *Loop* principal, lo que a su vez permite una recuperación en caso de pérdida. Desde la primera conexión, el dispositivo comienza a publicar los datos medidos en los tópicos designados en el *SetUp*.

En adición, para minimizar los errores tales como una publicación redundante se desarrolló un mecanismo de validación cuando el sistema es estable. Con ello se busca validar que los datos transmitidos sean relevantes y precisos, pero por encima de todo seguros mediante la conexión cifrada (Atmoko et al., 2017; Kashyap et al., 2024).

2.2 Circuito electrónico

El diseño del circuito electrónico tuvo como principal característica que se desarrolló en tres etapas que buscaron garantizar un monitoreo confiable de eventos, suministro de energía continuo y velocidad en la conmutación.

A continuación, se desarrollaron las especialidades y funciones de cada etapa electrónica.

2.2.1 Circuito de Rectificación

En esta etapa inicial se busca una conversión de la corriente alterna a una corriente directa estable y segura. Todo comienza en un transformador comercial que permite una transformación del voltaje de 110V por parte de la baja tensión a una tensión baja y segura de 9V. Una vez que llega la señal de 9V en alterna, es rectificadora por un puente de diodos 1N4007 entregando una corriente rectificada. El siguiente paso es una etapa de filtrado que suaviza el voltaje de rizo gracias a una resistencia en serie y un capacitor en paralelo, ya que esto converge en una corriente directa estable con un voltaje aproximado de 6,3V.

A partir de esta etapa inicial y al final del filtrado, el circuito se bifurca en 2 etapas que funcionarán en paralelo. Una de ellas tendrá la función de proteger el dispositivo de sobretensiones y permitir la medición de energía suministrada de baja tensión. La otra bifurcación formará parte de la alimentación principal de la tarjeta microcontroladora.

2.2.2 Circuito de Aislamiento y Circuito de Regulación

El circuito de aislamiento empieza con un transistor 2N222 configurado como seguidor de voltaje, con lo que se regula la corriente que llega al optoacoplador 4N30. El optoacoplador sumado al transistor en modo de seguidor de voltaje aísla eléctricamente la señal con la que se medirá la continuidad de corriente eléctrica en el punto, pues la salida del

optoacoplador llega a la entrada GPIO del microcontrolador. Esta entrada está configurada con una resistencia *pull-up* con la que se garantiza una estabilidad de la señal.

Por otro lado, está funcionando de manera paralela el circuito de regulación de voltaje, que busca alimentar de manera principal al microcontrolador. Empieza con la salida rectificadora y suavizada, llegando a unos capacitores de autoajuste y el regulador de voltaje LM317, teniendo en cuenta también el correspondiente diodo de protección. Este circuito termina por entregar un voltaje estable de 3.3V para el funcionamiento del módulo principal de la tarjeta electrónica.

2.2.3 Circuito de Alimentación Auxiliar y Conmutación Automática

Este circuito de alimentación auxiliar fue diseñado como un convertidor DC-DC, que está basado en el uso del módulo LM2596. Este módulo usa en el concepto de troceado de la energía, con lo cual se lo denomina *Chopper Class C*. Cabe aclarar que este módulo funciona de forma ajustable, mas no automática, debido a que posee un potenciómetro que determina el voltaje exacto de salida.

Se optó por realizar una conmutación analógica, que prioriza la velocidad y seguridad en los componentes. La velocidad y seguridad son dos características presentes en los diodos Schottky que evitan conexiones equívocas entre circuitos de alimentación y con su bajo *Breakdown Voltaje* permiten una conmutación veloz y segura.

2.2.4 Consideraciones

Cuando se especifica el contexto del hardware, estas etapas son la base funcional de un prototipo que tiene la finalidad de operar de manera autónoma. Como parte final del dispositivo también se tiene en consideración el soporte de ambientes rudos y corrosivos a los que puede ser expuesto el dispositivo. Para ello también se buscó una opción con la que el calor de los componentes pueda ser disipado o que por el contrario no sea retenido y que así no dañe los componentes.

2.3 Comunicación

La comunicación en este proyecto tuvo una dirección clara en proveer una transmisión de información segura y escalable. Para que la comunicación obtenga características tales, se optó por los siguientes elementos, el protocolo MQTT, el bróker EMQX y la integración con Ignition SCADA. Estas funciones otorgan robustez y al mismo tiempo versatilidad en la comunicación (Atmoko et al., 2017; Kashyap et al., 2024; Kawaguchi & Bandai, 2019).

2.3.1 Configuración de credenciales y Enlace Seguro

Se eligió el bróker EMQX, una vez la cuenta fue creada se buscó el puerto seguro SSL (8883) con lo que se garantiza la comunicación cifrada. Este protocolo fue seleccionado por ser un estándar robusto en la industria para la comunicación segura en entornos críticos. Para autenticar cada dispositivo, se utilizaron credenciales únicas, como el username EMPRESA1 y su respectiva contraseña. Esto no solo garantiza la seguridad, sino que también permite a múltiples dispositivos ESP32 operar bajo una misma identidad de usuario, facilitando la administración y escalabilidad del sistema (Kashyap et al., 2024).

Cada dispositivo ESP32 publica datos en tópicos categorizados según el número de dispositivo y el tipo de parámetro medido. Por ejemplo, los tópicos ESP_001/Electricidad, ESP_001/Internet y ESP_001/Localidad reflejan los estados eléctricos, la conectividad a Internet y la ubicación de un dispositivo específico. Este esquema jerárquico de tópicos permite una organización clara de los datos y simplifica la integración de nuevos dispositivos, contribuyendo a la escalabilidad del sistema.

El uso de un certificado SSL específico fue un paso crucial en la configuración. Este certificado permite autenticar las conexiones de los dispositivos al broker, evitando interceptaciones no autorizadas y asegurando que los datos sean entregados al destinatario previsto sin riesgos de manipulación.

2.3.2 Justificación de la Selección de EMQX

El broker EMQX se eligió después de comparar alternativas como Mosquitto, HiveMQ y RabbitMQ. EMQX se destacó por su capacidad de

manejar miles de conexiones concurrentes, su compatibilidad con múltiples protocolos y su flexibilidad para integrarse con plataformas de monitoreo y control. Además, EMQX ofrece herramientas avanzadas para la gestión de usuarios y tópicos, lo que facilita la configuración de sistemas de alta disponibilidad y redundancia, aspectos críticos para aplicaciones industriales (Kashyap et al., 2024; Kawaguchi & Bandai, 2019).

2.3.3 Instalación y Configuración de Módulos en Ignition SCADA

Para integrar los datos enviados por los ESP32 en la plataforma SCADA de Ignition, se instalaron dos módulos principales en el Local Gateway: MQTT Engine y MQTT Transmission.

- 1. MQTT Engine:** Este módulo es responsable de suscribirse a los tópicos configurados en el broker EMQX y recibir los datos en tiempo real. Una vez recibidos, los datos son procesados y almacenados en la base de datos de Ignition, donde pueden ser utilizados para generar gráficos, alarmas y reportes.
- 2. MQTT Transmission:** Este módulo permite la publicación de datos desde Ignition hacia otros dispositivos o sistemas, asegurando una comunicación bidireccional cuando sea necesario. Su configuración incluyó la definición del servidor EMQX, los tópicos de publicación y las credenciales de acceso.

Ambos módulos son esenciales para garantizar que Ignition pueda interactuar eficientemente con los dispositivos ESP32, manteniendo una comunicación fluida y confiable. Además, la flexibilidad de Ignition permite ampliar las capacidades del sistema al integrar datos provenientes de múltiples fuentes en una sola interfaz.

2.3.4 Organización de Tópicos y Escalabilidad

El diseño del sistema consideró la necesidad de escalabilidad desde el inicio. Al utilizar un esquema jerárquico de tópicos, se puede agregar con facilidad un nuevo dispositivo simplemente registrando sus nuevos tópicos en el broker. Por ejemplo, si se incorpora un dispositivo adicional, se crearían tópicos como ESP_002/Electricidad o ESP_002/Internet, manteniendo el orden y la claridad en la estructura de los datos.

2.4 Diseño SCADA

El diseño SCADA definitivo fue implementado con la utilización de la plataforma Ignition Designer. Esta misma posee un enfoque en interfaces interactivas, con visualizaciones llamativas y eficaces. El desarrollo fue clave con el módulo *Perspective*, ya que, otorga libertad creativa en las aplicaciones basadas en web con una optimización proveniente de múltiples dispositivos. Este paso fue crítico para la implementación de funciones de índole avanzada que amplían la experiencia del usuario al operar el sistema(Christine Grøtte, 2024; Imran et al., 2014).

2.4.1 Módulo Perspective

Para continuar se explicarán las principales características que se desarrollaron en el proyecto:

- Compatibilidad multiplataforma: Como el módulo Perspective tiene compatibilidad en distintas pantallas, se puede observar de modo remoto desde distintas máquinas o incluso celulares con acceso a internet y a un navegador.
- Dinamismo visual: Los elementos como mapas, marcadores y ventanas emergentes, son ampliamente utilizados para otorgar una función de dinamismo y visualización del proyecto.
- Monitoreo en tiempo real: La comunicación por el bróker MQTT otorga a la interfaz una capacidad de actualizar los datos de manera dinámica, sin la necesidad de recargas manuales, o reinicios del sistema.

2.4.2 Uso de los Scripts en la Programación de la Interfaz

Los Scripts que fueron escritos bajo el lenguaje Python dentro de Ignition, realizaron tareas especializadas tales como los siguientes ejemplos a continuación:

1. Configuración de Alarmas

Los Scripts se usaron especialmente para designar criterios personalizados según las alarmas. Estas alertas que pueden interpretarse como cortes prolongados o múltiples interrupciones

consecutivas. En la interfaz se optó como interpretar 1 sola alerta hasta que el estado reciba una señal distinta.

Aquí también entra la notificación vía correo electrónico o mensaje SMS a los operadores(Lachguer, 2020).

2. Cambio de Estados

La visualización y dinamismo atractivo es muy importante, por lo que, se optó por realizar distintos tipos de enlaces de variables de significados visuales con los cuales se pueda relacionar rápido.

Entre ellos están los marcadores que cambian de color y muestras diferentes ventanas emergentes según la variable recibida.

3. Parsing y Conversión de Variables

Una de las funcionalidades principales fue el procesamiento de datos, debido a que la señal la receta encriptada en un mensaje JSON, es necesario reinterpretarla. Esto fue realizado mediante los Scripts que proponían una estructura optimizada y organizada para el sistema SCADA(Hutton et al., 2012; Lachguer, 2020).

4. Optimización de recursos

Las variables derivadas del paso anterior (Parsing), son sumamente importantes, tales como la duración de los cortes o el número total de equipos activos. Este tipo de variables fueron integradas a las diferentes pantallas donde se pueden observar de forma detenida.

Python también dio paso a una implementación lógica adicional, para así no sobrecargar una etapa del proceso. Esto se puede ver en la limitación de las actualizaciones de forma automática, con el fin de mantener la precisión de los datos(Lachguer, 2020).

▶ DuracionSinInternet	0h 0m
▶ Estado	estable
▶ HoraCorte	null
▶ HoraRestauracion	null
▼ INTERNET	
▶ DuracionSinInternet	
▶ Estado	sin_internet
▶ HoraCorte	2025-01-...
▶ HoraRestauracion	null
▶ Proveedor	Proveedo...
▼ LOCALIDAD	
▶ Latitud	-2,2
▶ Longitud	-79,87

Ilustración 4 Variables afectadas después del *Parsing*

2.4.3 Pantalla 1: Mapa Geoespacial para Monitoreo de la Energía

Esta pantalla presenta un mapa interactivo que muestra la ubicación geográfica de los puntos monitoreados en relación con la disponibilidad de energía eléctrica. Las principales funcionalidades implementadas incluyen:

1. Mapa Geoespacial Interactivo

Cada punto en el mapa representa una ubicación específica donde se monitorea la disponibilidad de energía.

Los puntos están codificados por colores:

- Azul: Energía disponible.
- Rojo: Sin Energía.

2. Detalles del Punto al Hacer Clic

Al hacer clic en un punto, se despliega un cuadro de diálogo que contiene la siguiente información:

- Nombre del punto.
- Estado actual: Energía disponible o no (variable MQTT).
- Hora en la que se perdió la energía, si aplica (variable MQTT).
- Hora en la que regresó la energía, si aplica (variable MQTT).

- Duración total del corte, si aplica (variable MQTT).
- Latitud y longitud del punto.

3. Actualización en Tiempo Real

La pantalla está vinculada al broker EMQX para recibir actualizaciones en tiempo real de las variables MQTT, asegurando que los datos mostrados sean siempre precisos(Hutton et al., 2012).

2.4.4 Pantalla 2: Mapa Geoespacial para Monitoreo de Internet

La segunda pantalla replica el diseño de la primera, pero está dedicada al monitoreo de conectividad a Internet. Las funcionalidades son similares, adaptadas al contexto de conectividad:

1. Mapa Geoespacial Interactivo

Cada punto indica una ubicación donde se monitorea la conectividad a Internet.

Colores del punto:

- Verde: Con Internet.
- Rojo: Sin Internet.

2. Detalles del Punto al Hacer Clic

Información desplegada al seleccionar un punto:

- Nombre del punto.
- Estado actual: Con Internet o sin Internet (variable MQTT).
- Proveedor actual: Proveedor activo de internet en el punto
- Hora en la que se perdió la conexión, si aplica (variable MQTT).
- Hora en la que se restauró la conexión, si aplica (variable MQTT).
- Duración total de la interrupción, si aplica (variable MQTT).
- Latitud y longitud del punto.

3. Actualización en Tiempo Real

Similar a la primera pantalla, las variables MQTT actualizan dinámicamente la información(Hutton et al., 2012).

2.4.5 Pantalla 3: Dashboard de Alarmas Clave

La tercera pantalla presenta un resumen de las alarmas generadas del sistema:

1. Indicadores Clave

- Número total de equipos con Internet (variable agregada de MQTT).
- Número total de equipos con energía eléctrica (variable agregada de MQTT).

2. Promedio de Duración de Cortes

- Promedio de duración de los cortes de energía entre todos los puntos (cálculo basado en variables MQTT).
- Promedio de duración de las interrupciones de Internet entre todos los puntos (cálculo basado en variables MQTT)

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO, RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Diseño de la PCB y Programación para la Detección de Energía

El diseño de la PCB y la programación de la ESP32 se realizaron teniendo como objetivo la optimización energética y la confiabilidad de la detección de energía en escenarios de uso continuo. Este apartado aborda los fundamentos del diseño electrónico y la implementación del modo *Deep Sleep*, así como los cálculos eléctricos detallados para garantizar la eficiencia del sistema.

La alimentación principal del sistema se basa en un puente rectificador compuesto por diodos 1N4007, seguido por un circuito de filtrado integrado por un capacitor de 1000 μF y una resistencia de descarga. Este conjunto proporciona una salida de corriente continua estable al regulador de voltaje LM317. El regulador LM317 se configuró para suministrar 3.3 V necesarios para la ESP32, siguiendo la ecuación característica del regulador:

$$V_{OUT} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{adj} R_2$$

Donde:

- $V_{ref} = 1.25\text{V}$
- $R_1 = 240\Omega$
- $R_2 = 560\Omega$

Sustituyendo los valores seleccionados, se obtiene:

$$V_{OUT} = 3.30\text{ V}$$

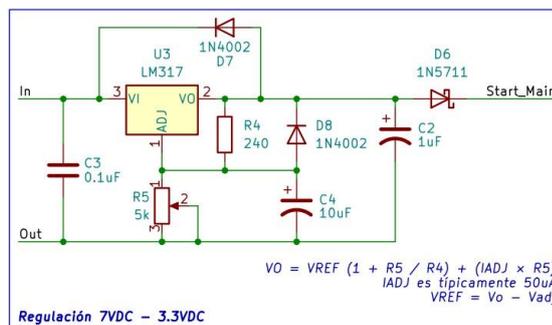


Ilustración 5 Circuito de Regulación de Voltaje

Adicionalmente, un módulo regulador de voltaje LM2596 se configuró como sistema auxiliar alimentado por una batería de 12 V, 7 Ah, el cual entra en operación cuando el voltaje de entrada al LM317 desciende por debajo de los niveles requeridos. Este diseño asegura la continuidad operativa en caso de fallos en el sistema principal.

3.2 Implementación del Modo Deep Sleep en la ESP32

Para reducir el consumo energético, la ESP32 se programa en ciclos de actividad e inactividad utilizando el modo *Deep Sleep*, donde el microcontrolador apaga la mayoría de sus periféricos. El sistema se configura para activarse cada 5 minutos mediante un temporizador RTC, realizar las mediciones y publicar los datos por protocolo MQTT antes de volver al modo de suspensión. Durante este modo, el consumo de la ESP32 se reduce a aproximadamente 10 μ A, mientras que en actividad el consumo se estima en 250 mA, en el modo normal de funcionamiento. El consumo energético total E durante un ciclo se calcula como:

$$E = (I_{activo} * t_{activo} + I_{sleep} * t_{sleep}) * V_{bat}$$

Sustituyendo:

$$E = (0.25 A * 5 s + 0.00001 A * 295 s) * 3.3 V \cong 4.125 mWh$$

Dado que la batería tiene una capacidad de 84 Wh (12 V * 7 Ah), el sistema podría operar por aproximadamente:

$$\frac{84}{4.125} = 20363 \text{ ciclos}$$

Esto equivale a aproximadamente 71 días de funcionamiento continuo antes de requerir recarga.

3.2.1 Cálculo de Consumo y Optimización Energética

El diseño fue evaluado considerando el impacto del uso del sistema auxiliar. La eficiencia del LM2596 (aproximadamente 90%) asegura un mínimo desperdicio energético en la conversión de voltaje. Este enfoque híbrido permite mantener operativa la ESP32 en escenarios críticos y minimiza los periodos de desconexión.

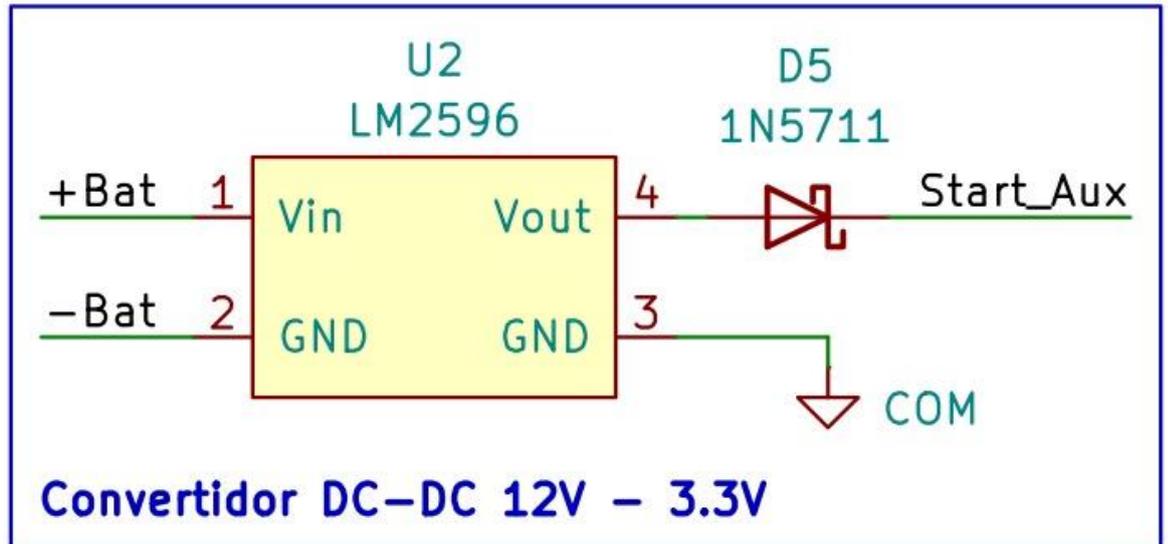


Ilustración 6 Circuito Convertido de Voltaje DC - DC

3.2.2 Consideraciones de Diseño y Resultados Obtenidos

El diseño de la PCB fue optimizado para integrar todos los componentes necesarios en un espacio reducido, mejorando la disipación térmica del LM317 mediante la adición de disipadores pasivos. La programación de la ESP32 y el uso del modo *Deep Sleep* lograron reducir significativamente el consumo energético, validando la sostenibilidad del sistema bajo condiciones operativas reales.

3.3 Mapa Geoespacial para el Monitoreo de Energía y Estabilidad

En la primera pantalla del sistema SCADA diseñado en Ignition Designer, se implementó un mapa geoespacial interactivo que presenta un marcador vinculado dinámicamente a las variables de latitud y longitud recibidas de las ESP32. Este marcador indica visualmente el estado actual de la energía en la zona monitoreada, utilizando colores codificados: verde para energía estable y rojo para pérdida de energía.

La funcionalidad del marcador está vinculada a un binding con las variables MQTT provenientes del sistema, de manera que cualquier cambio en la estabilidad de la energía se refleja en tiempo real en el mapa. Este diseño permite que los operadores identifiquen rápidamente las zonas afectadas y tomen decisiones informadas basadas en datos precisos y actualizados.

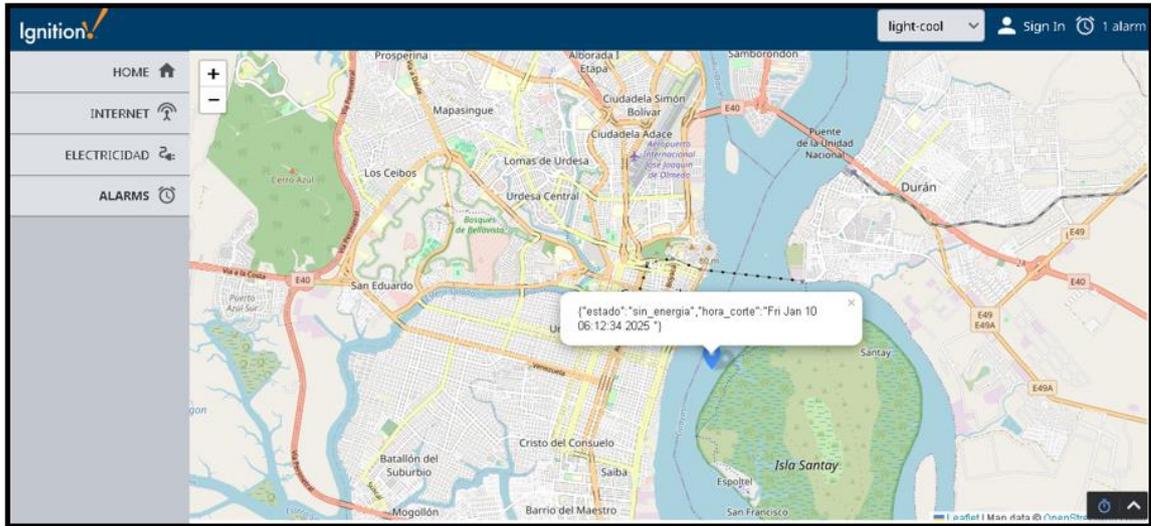


Ilustración 7 Mapa Descriptivo de la Estabilidad de la Energía

3.3.1 Mapa Geoespacial para el Monitoreo de Internet

La segunda pantalla del sistema SCADA presenta un diseño similar al primero, pero orientado al monitoreo del estado de conectividad a Internet. El mapa geoespacial incluye marcadores dinámicos vinculados a las variables de latitud y longitud de las ESP32, indicando si el acceso a Internet en una zona está activo o inactivo.

El estado de conectividad se representa con colores específicos: azul para conectividad activa y gris para zonas sin conexión. Esta visualización permite un análisis detallado del estado de red en diferentes áreas, optimizando la detección de fallos y facilitando la coordinación de acciones correctivas. Adicionalmente, al hacer clic en un marcador, se despliega un cuadro informativo que muestra:

- Nombre del punto.
- Estado actual del Internet (activo/inactivo).
- Tiempo total de desconexión (en caso de fallo).
- Hora de inicio y restauración del servicio.
- Proveedor activo.

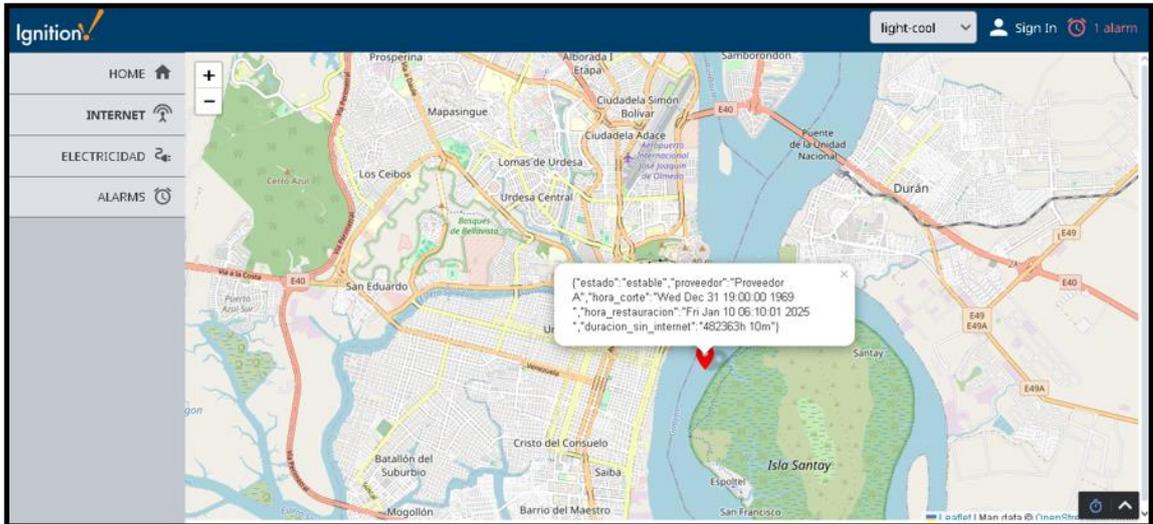


Ilustración 8 Mapa Descriptivo de la estabilidad del Proveedor de Internet

La tercera pantalla diseñada consolida toda la información relativa a las alarmas generadas por cortes de energía o Internet en una tabla centralizada. Esta tabla, vinculada a las variables MQTT, muestra en tiempo real los siguientes datos:

- Hora del corte: Tiempo exacto en el que se detectó la pérdida de servicio.
- Hora de restauración: Tiempo en el que se recuperó el servicio.
- Duración del corte: Diferencia entre la hora de corte y la hora de restauración.
- Tipo de corte: Clasificación como pérdida de energía o conectividad.

Adicionalmente, esta pantalla incluye un panel de notificaciones visuales que alerta a los operadores sobre cualquier corte reciente, priorizando aquellos que superen un umbral crítico de duración. Esta funcionalidad es especialmente útil para identificar patrones de interrupciones recurrentes y planificar mantenimientos preventivos.

Alarms						
1 ACTIVE		0 SHELVED		🔍 ☰ ⚙️		
Tipo	Estado	Priority	HoraDeCorte	HoraDeRestauracion	Duracion	
Internet	sin_internet	Low	2025-01-26 21:28:01.000	2025-01-26 21:46:35.000	0h 18m	

Ilustración 9 Tabla de Alarmas Principal

3.3.2 Interpretación y Análisis de los Resultados

El sistema SCADA desarrollado cumple con los objetivos de monitoreo en tiempo real y análisis de fallos de energía e Internet. Las tres pantallas proporcionan una visión integral del estado de las zonas monitoreadas, lo que facilita la gestión operativa y la respuesta oportuna a eventos críticos. Los resultados obtenidos demuestran la eficacia de integrar mapas geoespaciales y sistemas de alarmas en una sola plataforma, maximizando la usabilidad y reduciendo los tiempos de reacción.

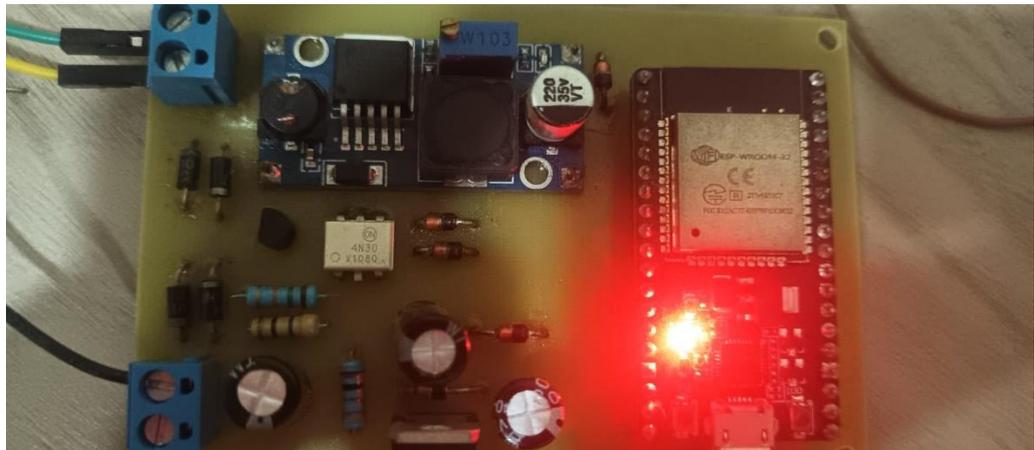


Ilustración 10 Implementación de la placa PCB

3.4 Viabilidad Económica

3.4.1 Costos de Componentes y Materiales

Con la finalidad de que los componentes se mantengan en una funcionalidad óptima, siempre se busca calidad en ello y en los materiales con los que se construyen la placa PCB de alto soporte térmico, con la tecnología de THT (*Through-Hole Technology*).

La tabla de costos refleja una compra unitaria de \$44,00 lo que sobrepasa con creces a una compra mayorista de \$26,99 disminuyendo su precio en 39.5%. Los principales componentes que elevan el precio final son claves como el transformador, la batería de 12V 7Ah, el módulo regulador LM2596 y el módulo ESP32-WROOM. Esto es significativo si se tiene en consideración la producción en masa.

Sin tomar en cuenta la producción y fabricación de la placa PCB que se reduce en más de su 50%, lo que promueve una producción escalada y masificada.

Para el análisis de costos es necesario incluir los componentes indispensables en la fabricación del equipo funcional, lo cual se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 4 Tabla de costos de Componentes y Materiales

Componente	Valor	Precio Unitario (\$)	Precio Mayorista
Resistencia	10k	0,10	0,05
Resistencia	5k	0,10	0,05
Resistencia	470	0,10	0,05
Resistencia	240	0,10	0,05
Resistencia	100	0,10	0,05
Capacitor	1000uf	1,00	0,60
Capacitor	10uf	0,50	0,30
Capacitor	1uf	0,20	0,10
Capacitor	0.1uf	0,15	0,05
Optoacoplador	4N30	1,50	1,00
Transistor	2N222	0,35	0,20
Regulador	LM317	1,00	0,60
DC – DC converter	LM2596	4,50	2,80
Diodo	1N5711W	0,15	0,08
Diodo	1N4007	0,15	0,08
Transformador	110V a 9V, 500mA	6,00	4,00
Foco	LED	0,15	0,08
Producción y fabricación de placa PCB		5,00	2,00
Módulo ESP32- WROOM		6,50	4,50
Batería	12V 7Ah	15,00	9,50
TOTAL		\$ 44,00	\$ 26,62

3.4.2 Costos Adicionales

La instalación de los equipos es muy variable, hay distintos factores que se toman en cuenta para el cálculo del costo en el proyecto. Con una base en los estándares internacionales de monitoreo, el costo de instalación de este equipo oscila entre \$15 a \$30 dependiendo de la magnitud del proyecto a implementar o de las configuraciones sometidas, además de las movilizaciones de los equipos técnicos para posicionar y configurar los parámetros.

Algo que se sugiere con suma importancia, es la adquisición de un chip que proporcione una señal ininterrumpida de internet satelital. En este caso se considera que su costo según el mercado tiene una variabilidad entre los \$15 y los \$20 según el plan contratado. Adicional de un costo básico mensual de \$10 para que se mantenga activo.

Por último, la importación también tiene un costo que es considerable según el peso y las dimensiones. A continuación, se detalla los costes de importación calculada para una masificación solicitada:

- Transporte internacional: \$3,99 (15%)
- Aranceles y tasas aduaneras: \$2,66 (10%)
- Manejo y almacenamiento: \$1,33 (5%)

Esto nos da un total de aproximadamente 8\$ sumando un total de \$34,99 por cada dispositivo.

3.4.3 Análisis de Proyecciones de Ahorro

La primera propuesta de ahorro es la reducción de personal técnico. Al ser un sistema autónomo se despreja la necesidad de realizar inspecciones manuales. Esto estima un ahorro de hasta \$500 mensuales por cada 40 equipos posicionados.

En proyectos de alta magnitud también se toma en cuenta el transporte y horas de trabajo del personal. Esto a su vez, proporciona un aumento en la producción de hasta un 15%(Alzamora Arévalo & Luis Armidio, 1982).

Una reducción importante es el costo de un mantenimiento preventivo, esto se simplifica a un ahorro anual de \$10 por dispositivo, esto debido al monitoreo que se realiza en cada punto(Alzamora Arévalo & Luis Armidio, 1982; Bertila Aponte et al., 2008).

Esos datos nos ayudan a estimar un costo inicial de \$60 con un costo previsto de fabricación, transporte internacional y nacional, instalación y configuración de parámetros.

3.4.4 Recuperación de inversión

Planteando las circunstancias de un proyecto mínimo de 50 dispositivos y un costo inicial de \$60 por dispositivo, estos son los ahorros anuales promedio por dispositivo instalado:

- Reducción de personal técnico (según cantidad de dispositivos): \$15
- Ahorro en planificación de mantenimientos preventivos: \$10
- Reducción de pérdidas por interrupciones: \$50

El ahorro efectivo anual concluyente es \$75

Considerando la vida útil es extensible hasta por 4 años aproximadamente.

$$\textit{Beneficio Neto} = \textit{Ingresos totales por ahorro} - \textit{Costo inicial}$$

$$\textit{Beneficio Neto} = \$300 - \$60 = \$240$$

Esto nos garantiza un retorno de inversión elevado.

$$ROI = \left(\frac{\textit{Beneficio Neto}}{\textit{Costo Inicial}} \right)$$

$$ROI = \frac{240}{60} * 100 = 400\%$$

La integración total de costo-beneficio termina con un resultado alto, lo que se concluye como una rentabilidad en ahorros significativa, lo cual posiciona al equipo como una solución eficaz y eficiente en proyectos medianos y grandes por su característica de escalabilidad.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La concepción del sistema representa un hito en la integración de tecnologías de monitoreo geoespacial y control electrónico. La convergencia entre microcontroladores ESP32, estrategias de gestión energética y sistemas SCADA configura un ecosistema tecnológico de alta precisión. La capacidad de mantener operatividad durante 71 días con una batería de 12V demuestra la sofisticación del diseño, trascendiendo las limitaciones tradicionales de los sistemas de monitoreo convencionales.
- El análisis económico revela una propuesta de valor extraordinariamente competitiva. Con un ROI del 400% y un costo de implementación relativamente bajo, el sistema desafía los paradigmas económicos de soluciones de infraestructura crítica. La proyección de ahorro de \$75 por dispositivo anualmente no solo justifica la inversión inicial, sino que posiciona la tecnología como una solución escalable para organizaciones de diversos sectores. La estrategia de reducción de costos operativos, incluyendo disminución de personal técnico y optimización de mantenimientos preventivos, configura un modelo económico sustentable y altamente atractivo para potenciales inversionistas
- Los mapas geoespaciales interactivos desarrollados representan un salto cualitativo en la representación de información de infraestructura. La capacidad de traducir datos complejos en visualizaciones intuitivas mediante codificación cromática (verde/rojo para energía, azul/gris para internet) demuestra una comprensión profunda de los principios de diseño de interfaces de usuario en sistemas de control industrial.
- Los mapas geoespaciales interactivos desarrollados representan un salto cualitativo en la representación de información de infraestructura. La capacidad de traducir datos complejos en visualizaciones intuitivas mediante codificación cromática (verde/rojo para energía, azul/gris para internet) demuestra una comprensión profunda de los principios de diseño de interfaces de usuario en sistemas de control industrial

- Los resultados obtenidos validan la sostenibilidad del sistema y su capacidad de mantener la eficiencia energética sin sacrificar la calidad del monitoreo en tiempo real. Este trabajo ha integrado eficazmente tecnologías como la ESP32, el protocolo MQTT y la visualización geoespacial, con lo que se posiciona como una solución innovadora y confiable para el monitoreo de energía en tiempo real.

4.2 Recomendaciones

- Los mapas geoespaciales interactivos desarrollados representan un salto cualitativo en la representación de información de infraestructura. La capacidad de traducir datos complejos en visualizaciones intuitivas mediante codificación cromática (verde/rojo para energía, azul/gris para internet) demuestra una comprensión profunda de los principios de diseño de interfaces de usuario en sistemas de control industrial.
- La próxima generación del sistema demanda una revisión exhaustiva de los protocolos de comunicación. La migración hacia arquitecturas de comunicación basadas en estándares más robustos, como MQTT con capas de seguridad avanzadas, representaría un incremento significativo en la confiabilidad y escalabilidad del sistema. La consideración de protocolos de comunicación redundantes y la implementación de mecanismos de autodiagnóstico serán cruciales para elevar la resiliencia del sistema.
- La materialización de este proyecto trasciende la mera solución técnica. Representa un paradigma emergente en la ingeniería de control, donde la convergencia entre electrónica de potencia, sistemas de comunicación y visualización de datos configura nuevas fronteras de innovación. La capacidad de generar valor económico mientras se optimizan los recursos tecnológicos posiciona esta solución como un referente en el campo de la automatización industrial.
- El desarrollo presenta múltiples vectores de profundización científica. Desde la optimización de algoritmos de detección de eventos hasta la exploración de nuevas arquitecturas de microcontroladores de ultra-bajo consumo, el proyecto se configura como una plataforma dinámica de investigación aplicada. La

interdisciplinariedad del sistema invita a colaboraciones entre ingeniería electrónica, ciencias de la computación y gestión de infraestructuras críticas.

BIBLIOGRAFÍA

- A. K. Myint, K. Z. Latt, T. T. Hla, & N. M. Tun. (2021). IoT-Based SCADA System Design and Generation Forecasting for Hydropower Station. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, 10.
- AlarmaMMS. (s/f). *Alarma GSM por Corte de Energía*.
- Alzamora Arévalo, & Luis Armidio. (1982). *Estudio y organización del mantenimiento preventivo correctivo línea de transmisión 220 kv. S.E. Independencia - S.E. Laminadora*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Atmoko, R. A., Riantini, R., & Hasin, M. K. (2017). IoT real time data acquisition using MQTT protocol. *Journal of Physics: Conference Series*, 853, 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/853/1/012003>
- Bertila Aponte, Matilde Fernández de Romero, Oladis Troconis de Rincón, Silagdy Arias, Melani Contreras, Jomar Ramos, & Raúl Collantes. (2008). Corrosion costs in preventive and corrective maintenance in equipment and facilities in industry . *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*.
- BR. David Arteaga Quintos. (2019). *Análisis de principales factores de rotura de conductores eléctricos en media tensión en la zona rural de Jaén para mejorar la calidad de servicios*. UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- Christine Grøtte. (2024). *Improving current approaches to systematic mapping of non-electrical ignition sources offshore*. University of Stavanger.
- ELECbEE. (2017). *Sensor de apagado Monitor eléctrico Fallo de energía Apagado Cortocircuito Alarma Señal de conmutación Sensor Suooly de energía*.
- Hutton, M. S., Azevedo, S., Beeler, R., Bettenhausen, R., Bond, E., Casey, A., Liebman, J., Marsh, A., Pannell, T., & Warrick, A. (2012). Experiment archive, analysis, and visualization at the National Ignition Facility. *Fusion Engineering and Design*, 87(12), 2087–2091. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2012.07.009>
- Imran, S., Emberson, D. R., Diez, A., Wen, D. S., Crookes, R. J., & Korakianitis, T. (2014). Natural gas fueled compression ignition engine performance and emissions maps with diesel and RME pilot fuels. *Applied Energy*, 124, 354–365. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.067>
- Kashyap, M., Dev, A. K., & Sharma, V. (2024). Implementation and analysis of EMQX broker for MQTT protocol in the Internet of Things. *e-Prime - Advances in Electrical*

- Engineering, Electronics and Energy*, 10, 100846.
<https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100846>
- Kawaguchi, R., & Bandai, M. (2019). A Distributed MQTT Broker System for Location-based IoT Applications. *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCE.2019.8662069>
- Lachguer, A. (2020). *Desarrollo infraestructura tipo Cloud mediante tecnología Ignition* [Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal]. Universidad de Alicante.
- Ling Chen, Xiaoming Wang, Ping Xue, Yong Zhang, Yueqi Gu, Xuezhi Zhao, Xianzhou Cheng, Mengyao Fan, & Shuang Xiao. (2023). Design of Visual Seismic Monitoring and Warning System Based on Zabbix. *PURPOSE-LED PUBLISHING*.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, SUBSECRETARÍA DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, SUBSECRETARÍA DE DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, & SUBSECRETARÍA DE TERRITORIO Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL. (2024a). *PLAN MAESTRO DE ELECTRICIDAD* (Primera Edición).
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, SUBSECRETARÍA DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, SUBSECRETARÍA DE DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, & SUBSECRETARÍA DE TERRITORIO Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL. (2024b). *PLAN MAESTRO DE ELECTRICIDAD* (Primera Edición).
- Muñoz Chumo Edwin Adrián, Ney Raúl Balderramo Vélez, & Pico Mera Gabriel Enrique. (2018). Eficiencia Energética en Función del Desarrollo del Plan Maestro de Electrificación (PME) en Ecuador. . *REVISTA RIEMAT*, 3(2).
- MySpool. (2024). *Power Failure and Internet Outage Detector*.
- Oscar Mauricio Sigüencia Sigüenza. (2017). *Aplicación de métodos de optimización para electrificación en zonas rurales del Ecuador*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
- PABLO ANDRÉS WEBER CORNEJO. (2011). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLATAFORMA SCADA PARA SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN SUSTENTABLE EN LA LOCALIDAD DE HUATACONDO*. Universidad de Chile.
- Villamar Tandazo, W. D., & Buenaventura Jiménez, K. S. (2022). *Sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica en tiempo real de bajo costo basado en internet de las cosas*. Escuela Politécnica del Litoral.

APENDICES

APENDICE A

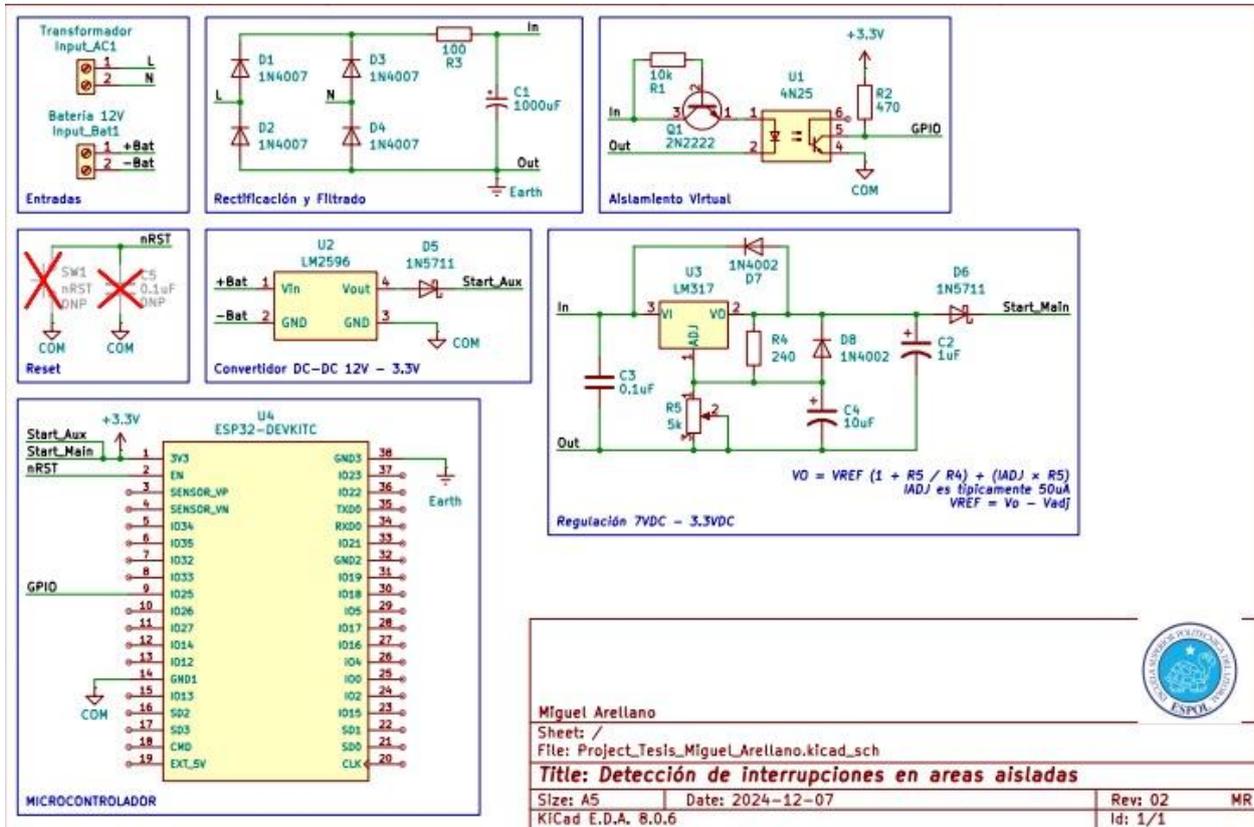


Ilustración 11 Circuito Esquemático Completo del Equipo

En la **Ilustración 11**, se observan todas etapas descritas con anterioridad, para empezar la etapa de rectificación y filtrado, que se bifurca en la etapa de Regulación 7VDC – 3.3 VDC y la etapa de Aislamiento Virtual. Paralelamente, está la interacción de la fuente auxiliar como la etapa del Convertidor DC – DC 12V – 3.3V.

Ref	Source	Placed	References	Value	Quantity
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C1	2000uF	1
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C2	1uF	1
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C3	0.1uF	1
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C4	20uF	1
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	R1	30k	1
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	R2	470	1
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	R3	200	1
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	R4	240	1
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	R5	5k	1
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D1, D2, D3, D4	200007	4
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D5, D6	105711	2
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D7, D8	200002	2
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	U1	AK25	1
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	U2	LP2956	1
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	U3	LP2917	1
16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	U4	ESP32-DEVKITC	1
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Input_UC1	Transformador	1
18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Input_Bat1	Bateria 12V	1
19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Q1	2N2222	1

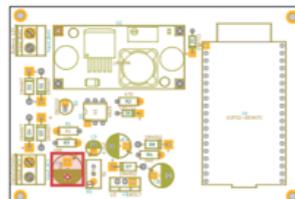


Ilustración 12 Lista de Componentes según el Software KiCad para elaboración de placas y circuitos eléctricos

En la **Ilustración 12** se puede observar la lista de componentes estrictamente necesarios, esto gracias al software KiCad, utilizado ampliamente para el desarrollo de diagramas esquemáticos y placas PCB de alto valor.

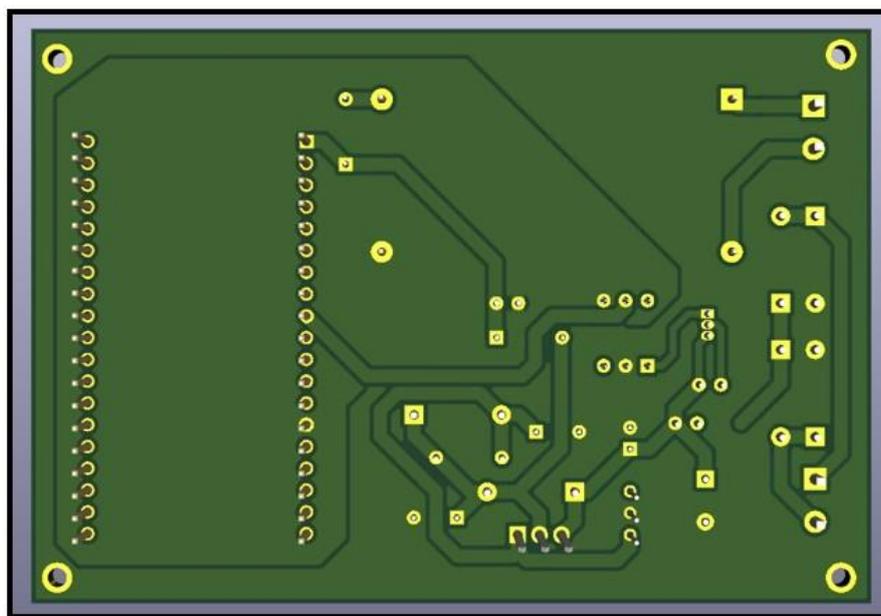


Ilustración 13 Pistas de la placa PCB diseñada

En la **Ilustración 13**, se puede observar un modelado 3D sumamente preciso, especificando los componentes y su polaridad.

APENDICE B

```
// Tópicos MQTT
const char* topic_localidad = "Empresal/ESP_001/Localidad";
const char* topic_electricidad = "Empresal/ESP_001/Electricidad";
const char* topic_internet = "Empresal/ESP_001/Internet";
```

Ilustración 14 Tópicos a los que está suscrito el dispositivo

Tanto en la **Ilustración 15 y 16**, están detallados partes del código fueron fundamentales como la elaboración del mensaje a publicar una vez se complete la lógica interna de la detección del corte de energía y la detección de corte de internet

```
String createInternetMessage(bool restored, time_t timestamp, String estado = "") {
    String msg;
    if (restored) {
        time_t duration = timestamp - lastInternetOutage;
        int hours = duration / 3600;
        int minutes = (duration % 3600) / 60;
        msg = String("{\"estado\":\""} + (estado.isEmpty() ? "restaurado" : estado) +
            "\",\"proveedor\":\"" + currentProvider +
            "\",\"hora_corte\":\"" + String(ctime(&lastInternetOutage)) +
            "\",\"hora_restauracion\":\"" + String(ctime(&timestamp)) +
            "\",\"duracion_sin_internet\":\"" + hours + "h " + minutes + "m\"}");
    } else {
        msg = String("{\"estado\":\"sin_internet\", \"proveedor\":\"" + currentProvider +
            "\",\"hora_corte\":\"" + String(ctime(&timestamp)) + "\"}");
    }
    return msg;
}
```

Ilustración 15 Función Creación de Mensaje de Internet

```

String createElectricityMessage(bool restored, time_t currentTime, String estado = "") {
    String msg;
    char timeStr[30];

    if (!restored) {
        // Mensaje de corte
        ctime_r(&initialPowerOutage, timeStr); // Usamos initialPowerOutage en lugar de currentTime
        timeStr[strlen(timeStr)-1] = '\0';
        msg = String("{\"estado\":\"sin_energia\",\"hora_corte\":\"\"} + timeStr + "\"}");
    } else {
        // Mensaje de restauración o estable
        char corteStr[30], restauracionStr[30];

        ctime_r(&initialPowerOutage, corteStr);
        ctime_r(&initialRestoration, restauracionStr); // Usamos initialRestoration
        corteStr[strlen(corteStr)-1] = '\0';
        restauracionStr[strlen(restauracionStr)-1] = '\0';

        time_t duration = initialRestoration - initialPowerOutage; // Calculamos con los timestamps guardados
        int hours = duration / 3600;
        int minutes = (duration % 3600) / 60;

        msg = String("{\"estado\":\"\"} + (estado.isEmpty() ? (powerRestored ? "restaurado" : "estable") : estado) +
            "\",\"hora_corte\":\"\" + corteStr +
            "\",\"hora_restauracion\":\"\" + restauracionStr +
            "\",\"duracion_sin_energia\":\"\" + hours + "h " + minutes + "m\"}");
    }
    return msg;
}

```

Ilustración 16 Función de Creación de Mensaje de Energía

APENDICE C

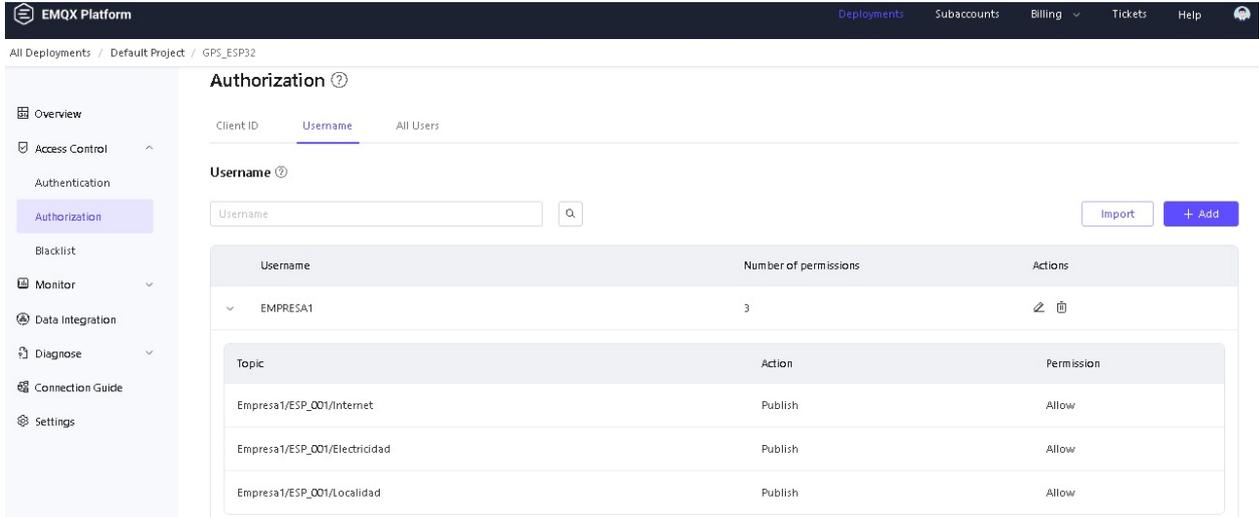


Ilustración 17 Creación de Credenciales, Publicadores y Suscriptores de los tópicos

En la **Ilustración 18** es posible ver que la creación de usuarios se sencilla y sumamente útil, adicionalmente, es posible ver lo diferentes topics a los que se configura como publishers o subscribers.

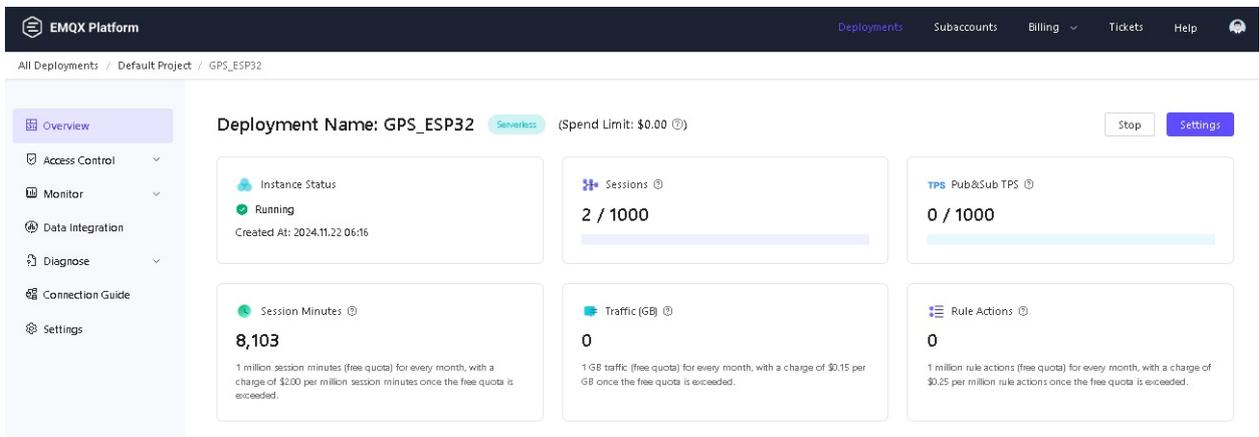


Ilustración 18 Número de Dispositivos Conectados al Broker MQTT, además de parámetros tales como los datos utilizados en la transmisión de mensaje.

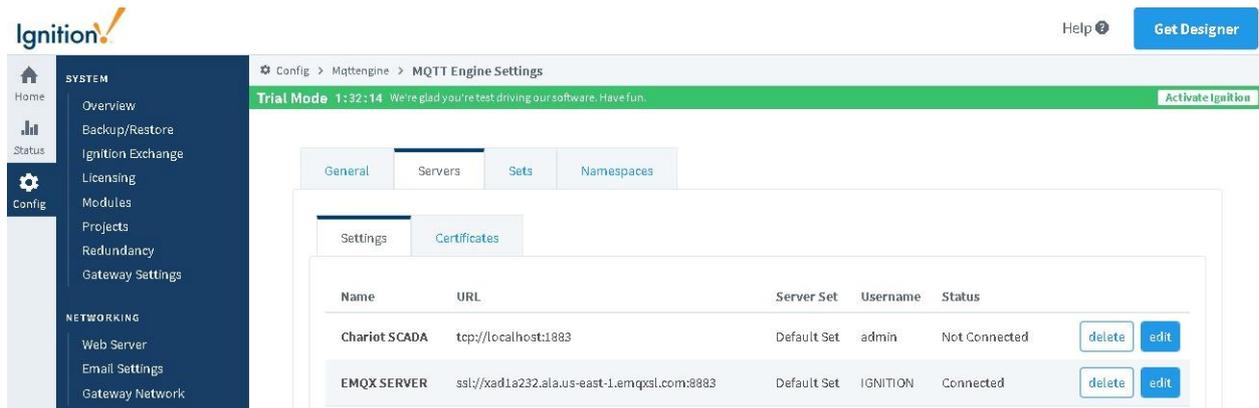


Ilustración 19 Configuración de Local Gateway de Ignition para la Conexión Exitosa con el Broker MQTT

Específicamente, en la **Ilustración 20 y 21**, es posible observar la dirección del bróker MQTT y la suscripción de los mismos tópicos con sus respectivas contraseñas.

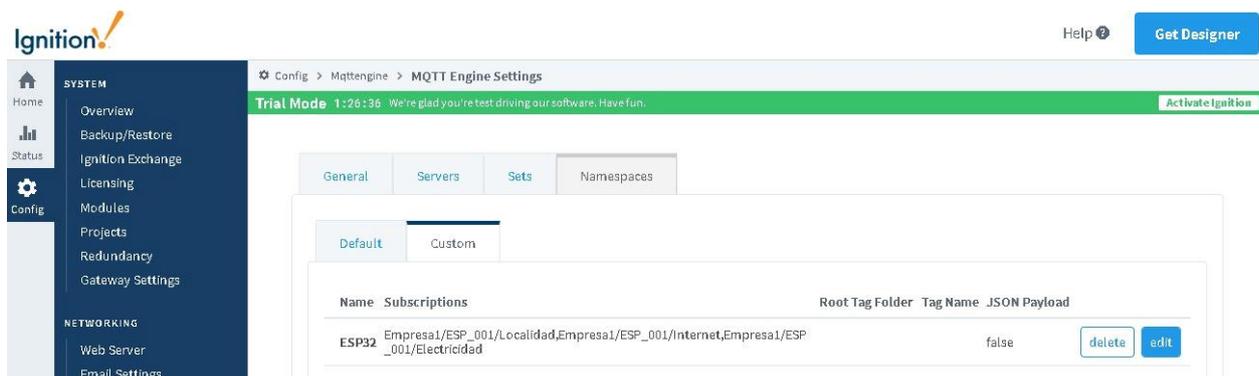


Ilustración 20 Creación de Namespaces con los que se Suscribirá a Tópicos

APENDICE D

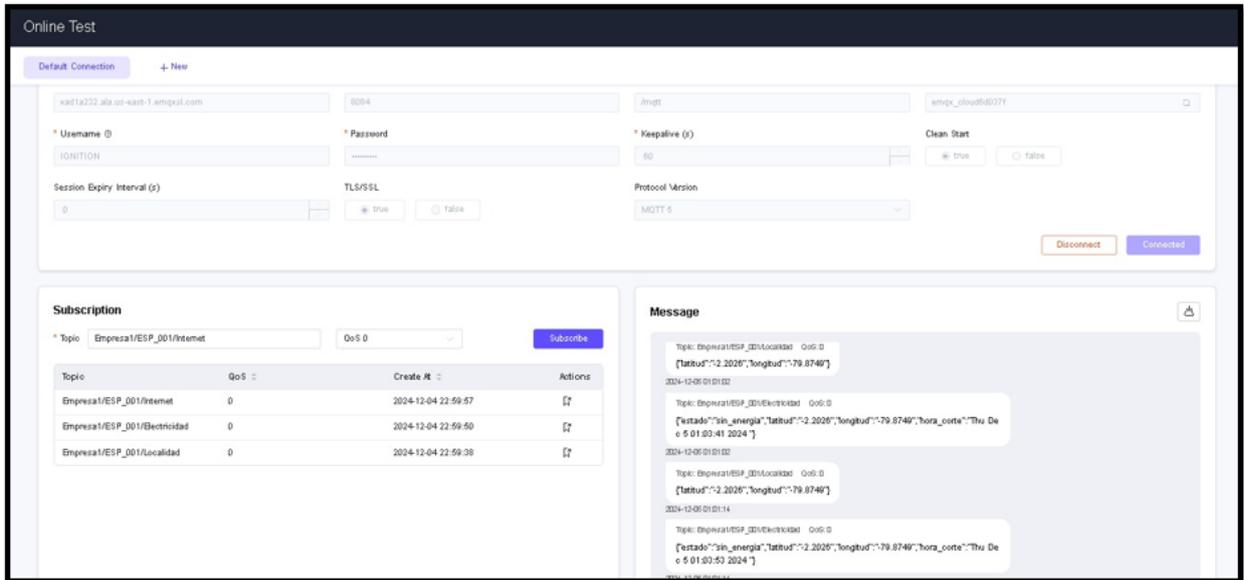


Ilustración 21 Resultados de la Comunicación entre el Dispositivo ESP32 y el Programa Ignition

```
Script
1 def valueChanged(tag, tagPath, previousVal
2     import json
3     import re
4     from datetime import datetime
5
6     # Configurar Logger
7     logger = system.util.getLogger("TagCh
8
9
10    try:
11        # Obtener el valor actual del tag
12        mensaje = currentValue.value
13        logger.info("Mensaje original rec:
```

Ilustración 22 Parte del Script con el cuál se Realiza el *Parsing* de Variables

En la **Ilustración 23** se puede ver la configuración interna de uno de muchos Scripts configurados en la plataforma de Ignition.

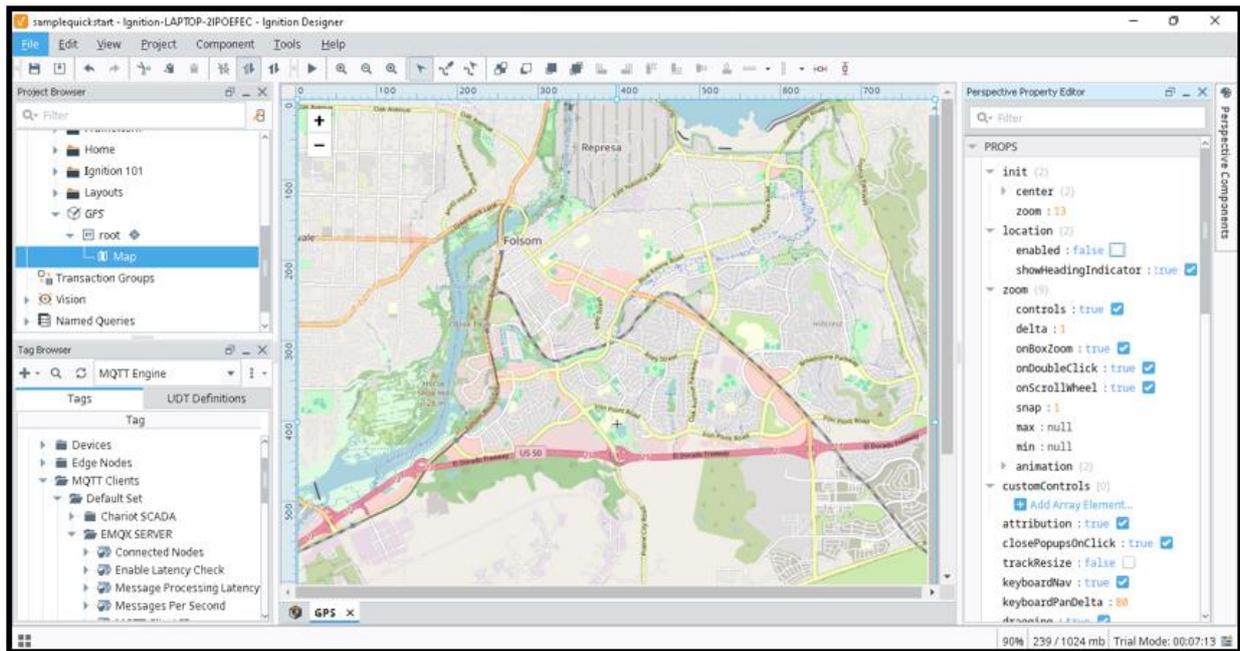


Ilustración 23 Diseño del Mapa Dinámico Basado en la Longitud y Latitud