

ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

Facultad de Ingeniería de Sistemas
Ingeniería en Ciencias de la Computación



Trabajo de Integración Curricular, Septiembre 2024
Isaac Mateo Sarzosa Valencia

CREACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO DE AGRICULTURA INTELIGENTE UTILIZANDO EQUIPOS DE DESARROLLO DE BAJO COSTO Y TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN LORAWAN Y WIFI

Implementación física de un prototipo de monitoreo de temperatura y humedad del suelo y ambiente mediante equipos de desarrollo de bajo costo y comunicación LoRaWAN

Contexto y Escenario

La relevancia de la tecnología **LoRa** y redes **LoRaWAN** crece en el área de telecomunicaciones gracias **al bajo costo, alto alcance y eficiencia energética** para el ámbito del **Internet de las Cosas** (IoT - Internet of Things).

Un caso de uso local es la **Agricultura Inteligente (Smart Farming)** para granjas y fincas que requieren sistemas de monitoreo en sus cultivos o plantaciones.

Resumen

En este TIC **se diseña y crea 2 prototipos** que usan LoRaWAN para transmitir información en un sistema de monitoreo:

- **Dispositivo de medición** de temperatura y humedad
- **Dispositivo de accionamiento** de sistemas eléctricos

Con los prototipos y una **puerta de enlace** IoT LoRaWAN (gateway) interconectados, los datos se recolectaron y procesaron usando la **herramienta de programación Node-RED**.

Posteriormente, **un servidor de mensajería MQTT** (Message Queuing Telemetry Transport) es quien posibilita el acceso a dichos datos.

Resumen

La **metodología** escogida para este trabajo es la **PPDI00** (de **Cisco Systems Inc.**), que define **6 etapas** para el desarrollo:

- **Preparación**
- **Planificación**
- **Diseño**
- **Implementación**
- **Operación**
- **Optimización**

Resumen

Los resultados en general abarcan:

- **Cobertura** > ~ **1.848 [km²]** (aprox. 6 veces la superficie de interés respecto a Urkuwayku)
- **Tiempo de autonomía de ~ 15 horas** (cerca del ~ 50% de capacidad de un banco de poder de 10k [mAh] para 4 dispositivos simultáneamente)
- **Indicador de Intensidad de la Señal Recibida promedio de -110 [dBm]** (RSSI - Received Signal Strength Indicator)
- **Costo de ~ \$90.00 USD (dólares de Estados Unidos) por prototipo** (piezas y ensamblaje)

Objetivo General

Diseñar e implementar el componente de medición y accionamiento para un sistema de monitoreo de cultivos en una granja, usando un **microprocesador ESP32** (y su chip transceptor SX1262), **módulos de sensores** de temperatura y humedad, una **red LoRaWAN**, un **servidor de mensajería MQTT** y una **aplicación Node-RED**; con el fin de brindar tratamiento de datos y despliegue de información iniciales a dicho sistema de monitoreo.

Objetivos Específicos

- **Ensamblar y verificar** el funcionamiento de un primer **dispositivo piloto** enfocado en **medición**.
- **Ensamblar y verificar** el funcionamiento de un segundo **dispositivo** enfocado en **accionamiento** (para habilitar y deshabilitar un circuito eléctrico acoplado).
- **Configurar el Gateway IoT LoRaWAN** y sus parámetros de Identificador Único Extendido (EUI - Extended Unique Identifier) para la **recepción y tratamiento de datos**.

Objetivos Específicos

- **Levantar** un servidor de mensajería **MQTT** con **autenticación**.
- **Estructurar un flujo de instrucciones** en la aplicación **Node-RED** del Gateway IoT LoRaWAN para **extraer** y realizar un primer **tratamiento de datos**, en conjunto con el servicio **MQTT**.
- Revisar y **diagnosticar** la **calidad del flujo de datos** enviados y recibidos.

LoRaWAN

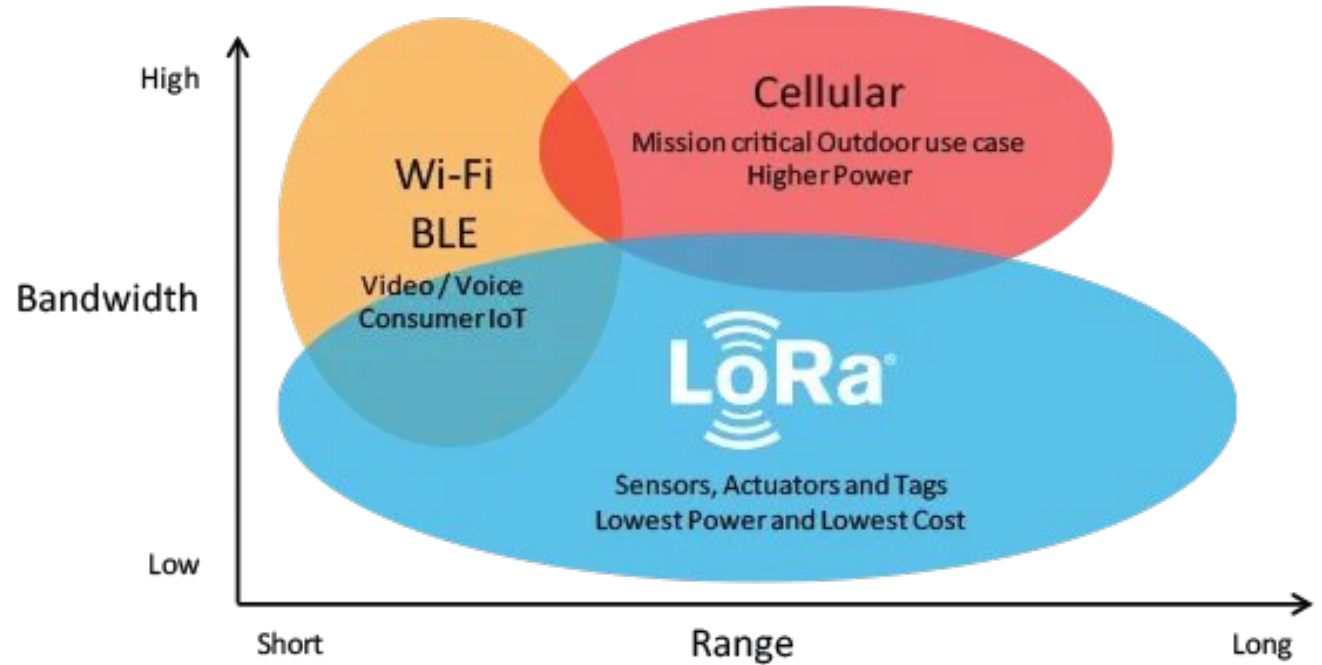
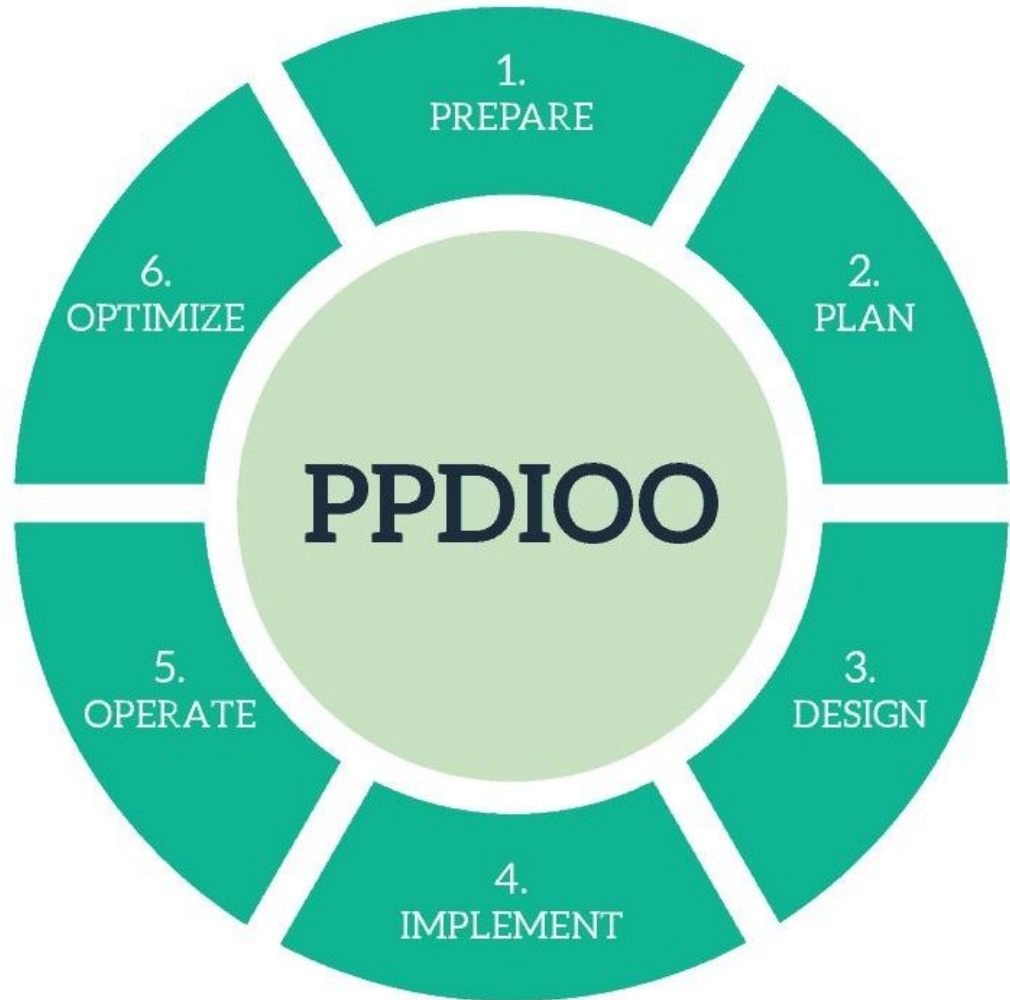


Figura 1. Comparación entre rango y ancho de banda de tecnologías populares de radiofrecuencia.

Metodología PPDIO

Figura 2.
Las 6 fases en la
metodología
PPDIOO, de Cisco
Systems Inc..



Heltec Wireless Stick V3 Dispositivo clase A

Figura 3.

Diagrama de terminales (pines) del microprocesador Wireless Stick (V3) v3.1 de Heltec Automation.

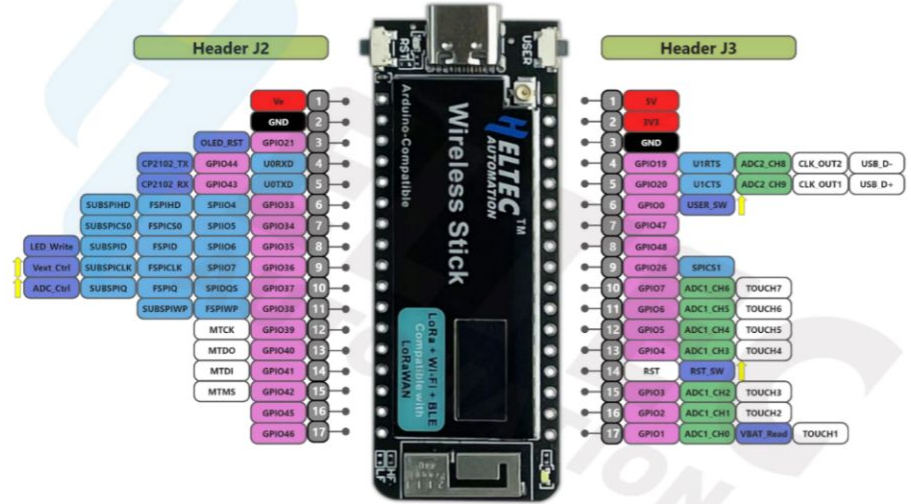


Figura 4.

Contenido del paquete del microprocesador Wireless Stick (V3) de Heltec Automation.



Multitech Conduit AP Gateway

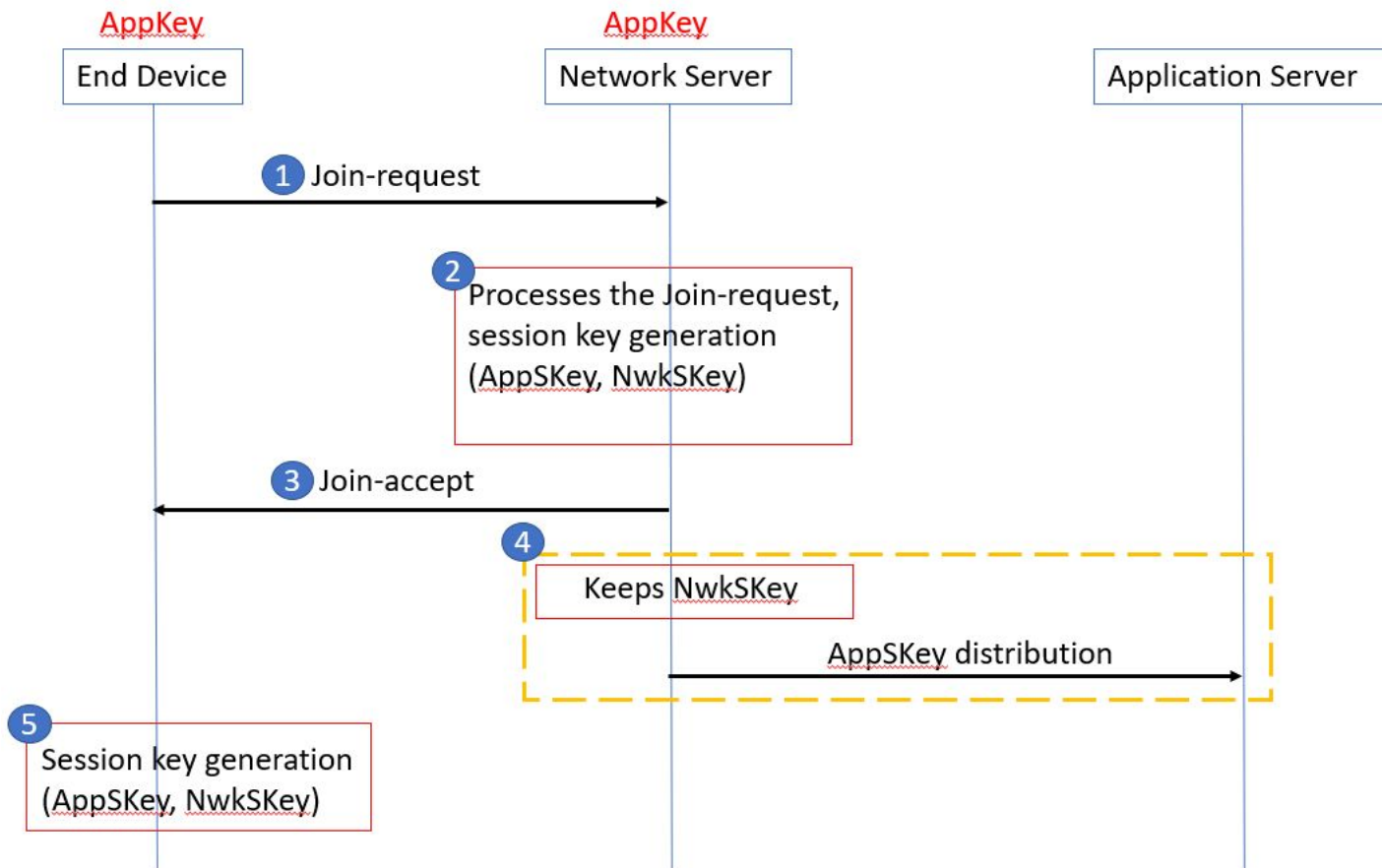
El Gateway puede utilizar redes de gran ancho de banda como WiFi, Ethernet o celular para conectarse a un servidor de red con servicios más amplios.

Figura 5.
Gateway IoT
LoRaWAN
MTCDTIP-LEU1-
266A con gran
parte de sus
componentes.



Activación OTA

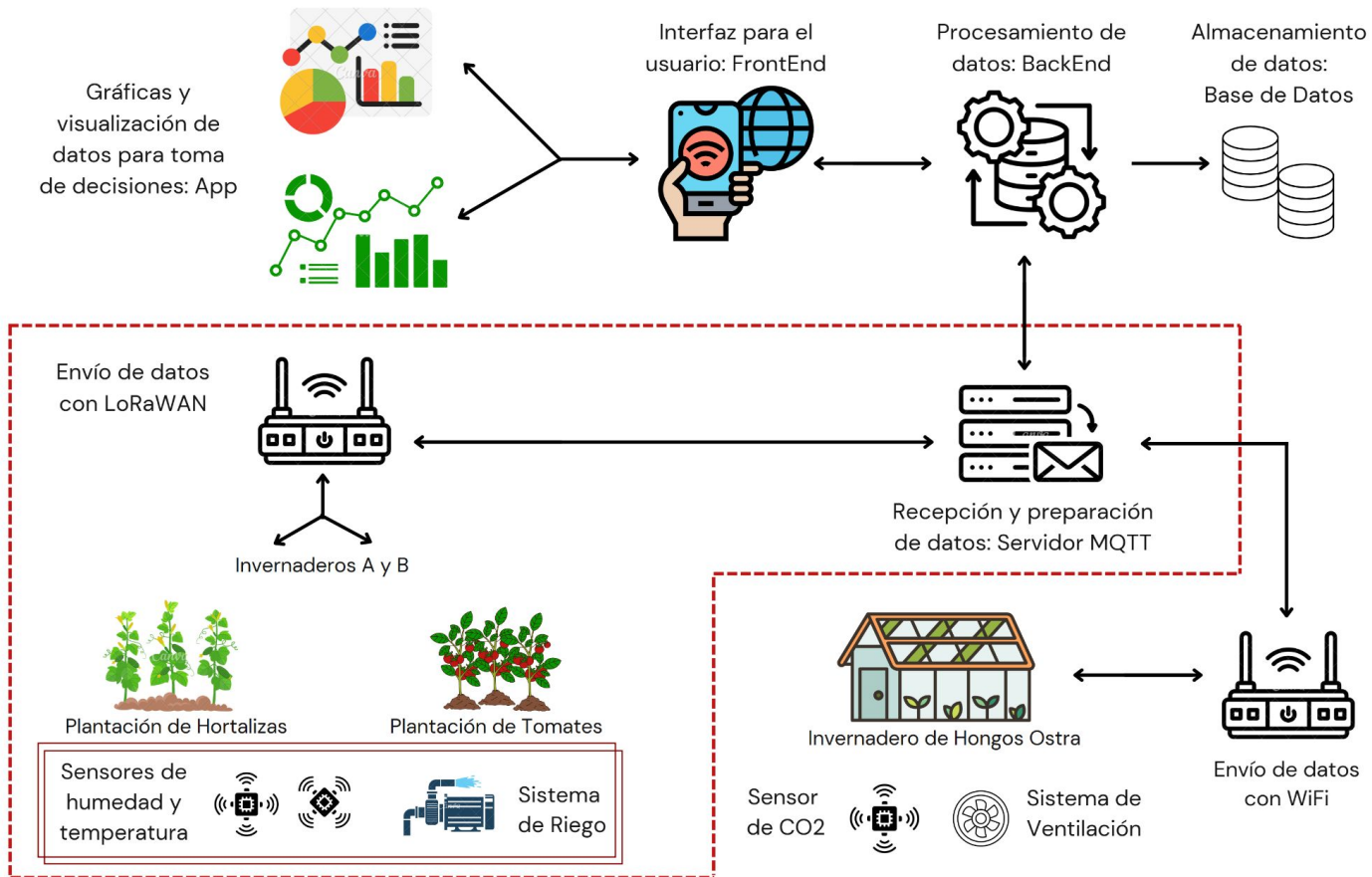
Figura 6.
Flujo de mensajes durante activación OTA.



Arquitectura

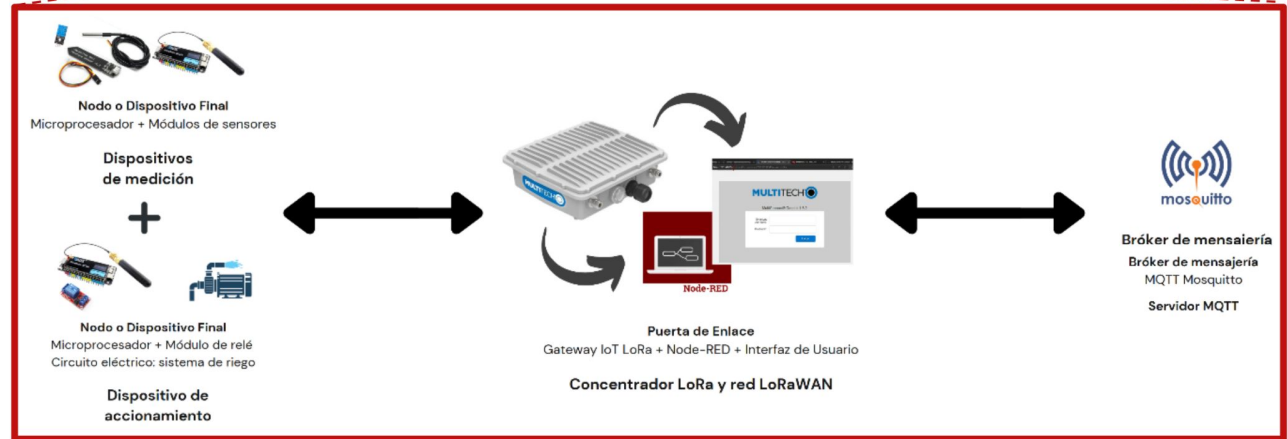
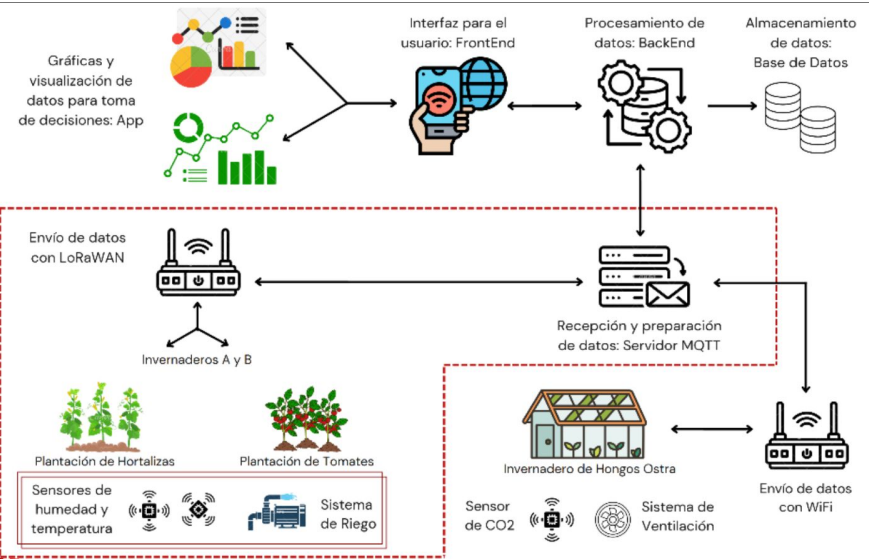
Figura 7.
Arquitectura e interconexión generales del sistema de monitoreo.

Énfasis en rojo, el alcance de este TIC.



Arquitectura interna

Figura 8.
Arquitectura interna del componente desarrollado en este TIC.



Arquitectura Lógica

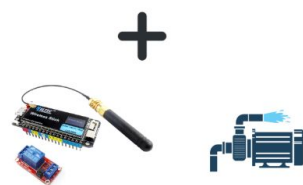
Figura 9. Arquitectura lógica interna del componente desarrollado en este TIC.

4 Nodos con sensores, 1 Nodo con relé
DevEUI (8 B) + AppEUI (8 B) + AppKey (16 B)
(cada dispositivo)



Nodo o Dispositivo Final
Microprocesador + Módulos de sensores

Dispositivos de medición

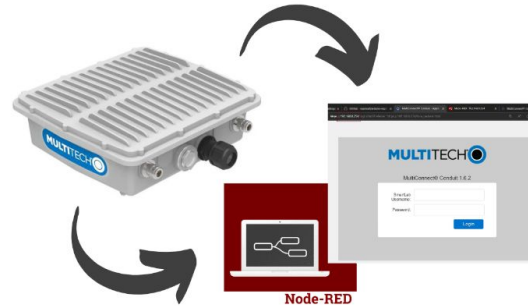


Nodo o Dispositivo Final
Microprocesador + Módulo de relé
Circuito eléctrico: sistema de riego

Dispositivo de accionamiento

Dir. IP > 192.168.0.254/24
Administración Gateway IoT LoRa
Plan del canal: US915

Dir. IP > 192.168.0.254:1880/24
Aplicación Node-RED
Flujos para procesamiento de datos



Puerta de Enlace
Gateway IoT LoRa + Node-RED + Interfaz de Usuario

Concentrador LoRa y red LoRaWAN

Dir. IP > 192.168.0.2:1883/24
Autenticación por credenciales
Suscripción y Publicación

Dir. IP > 192.168.0.4:8883/24
Autenticación por certificado
Suscripción y Publicación



Bróker de mensajería
MQTT Mosquitto
Servidor MQTT

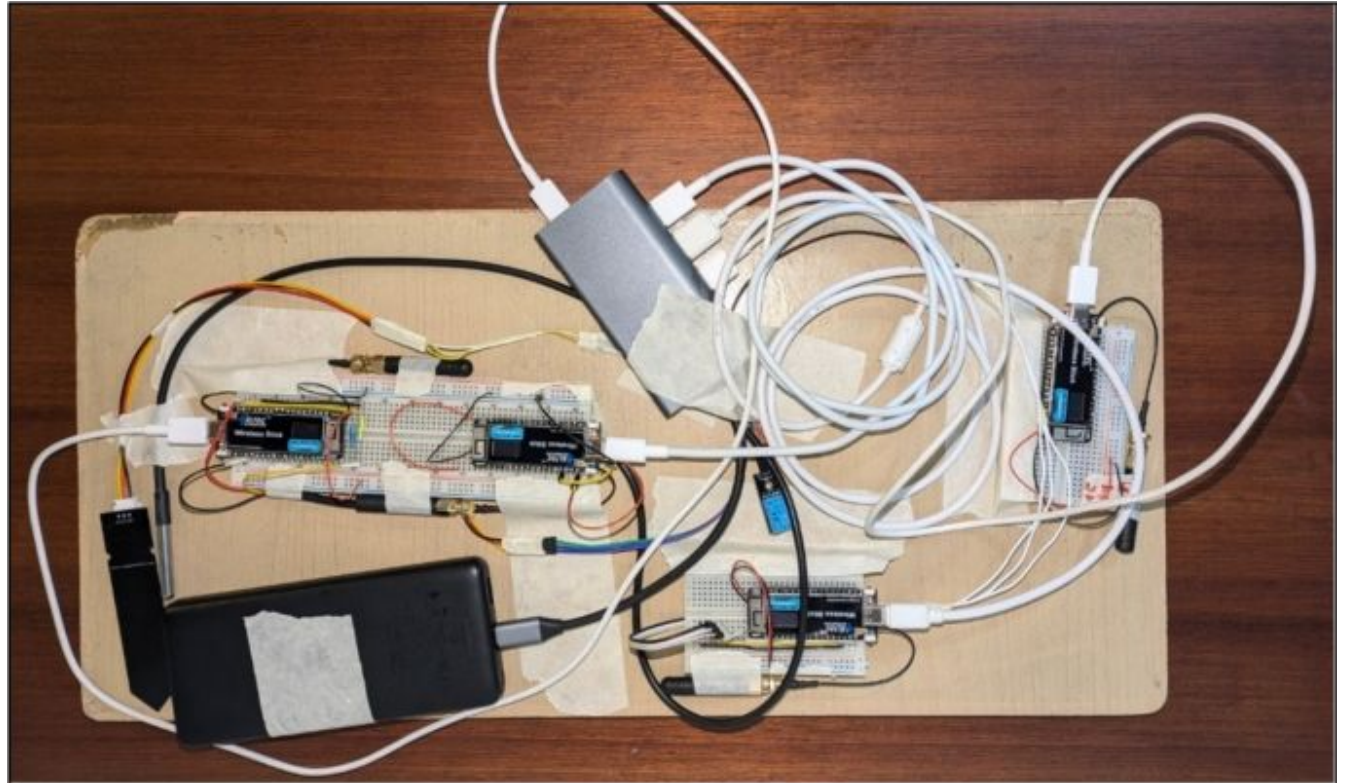
Parámetros EUI

Tabla 1. Parámetros EUI para los dispositivos de medición y de accionamiento.

ID	Nombre	Perfil de la Red	Perfil del dispositivo	DevEUI	AppEUI	AppKey
tic2024b_1	temp	LW1022- OTA-US- 915	DEFAULT- CLASS-A (clase A)	65 ... C3B	00 ... 00	1D ... 7C
tic2024b_2	dht11			65 ... 43B		9D ... 32
tic2024b_3	probe			E9 ... 9F		21 ... 13
tic2024b_4	flat			65 ... 47		8D ... 15
tic2024b_5	relay			54 ... 6C		1F ... 71

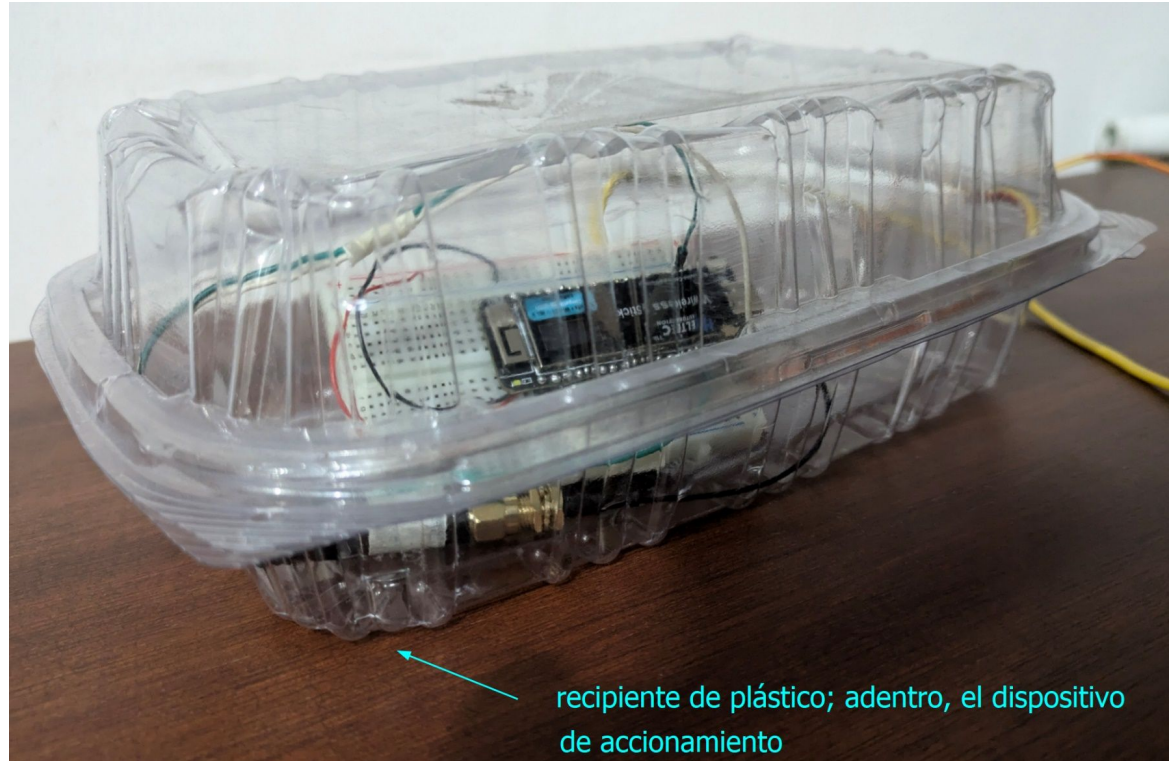
Dispositivos ensamblados

Figura 10. Dispositivos finales ensamblados.



Dispositivos ensamblados

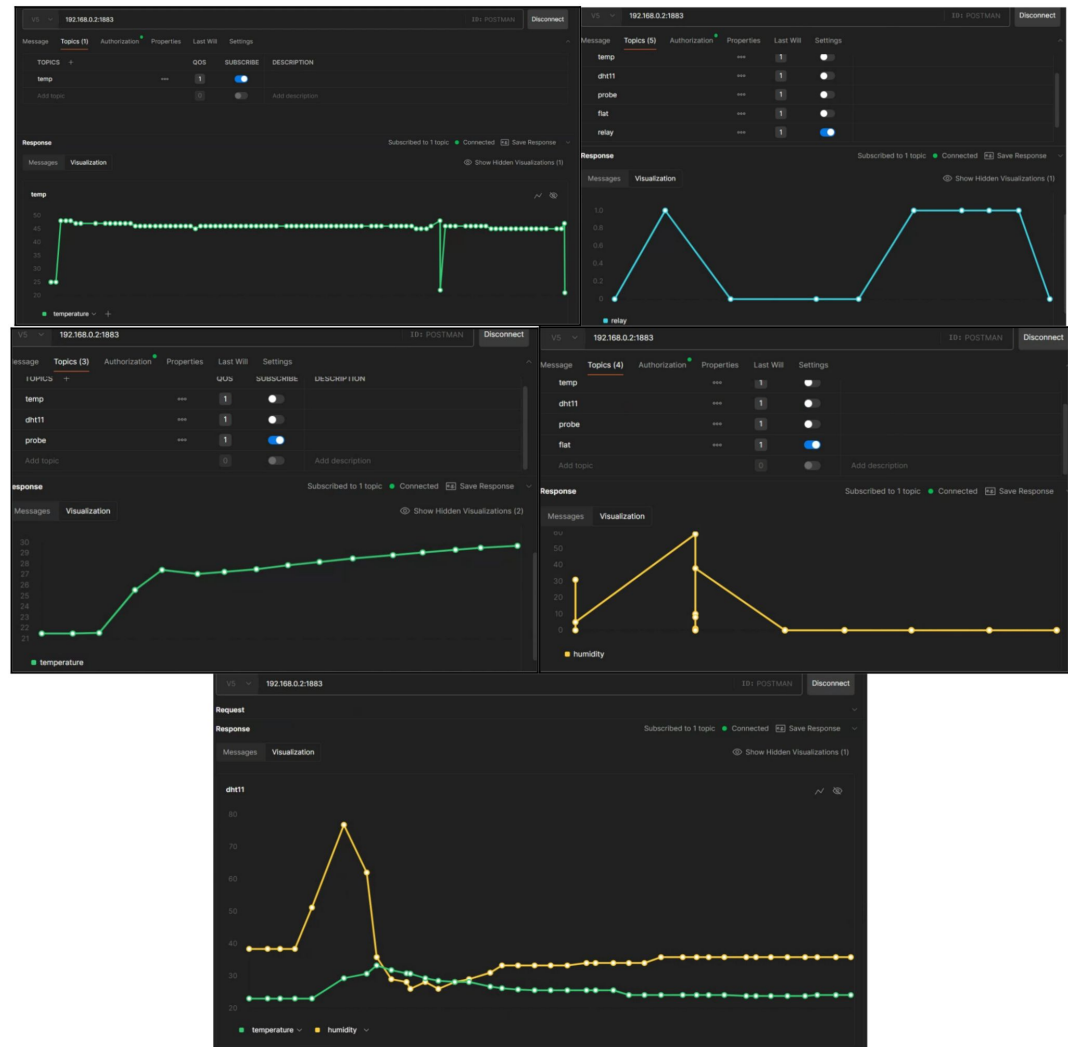
Figura 11. Recipiente de plástico usado como armazón en uno de los dispositivos.



recipiente de plástico; adentro, el dispositivo de accionamiento

Capturas en Postman

Figura 12.
Suscripción a los tópicos generados por cada uno de los dispositivos de medición, usando Postman.



Área geográfica

Figura 13. Recorrido del área geográfica analizada.

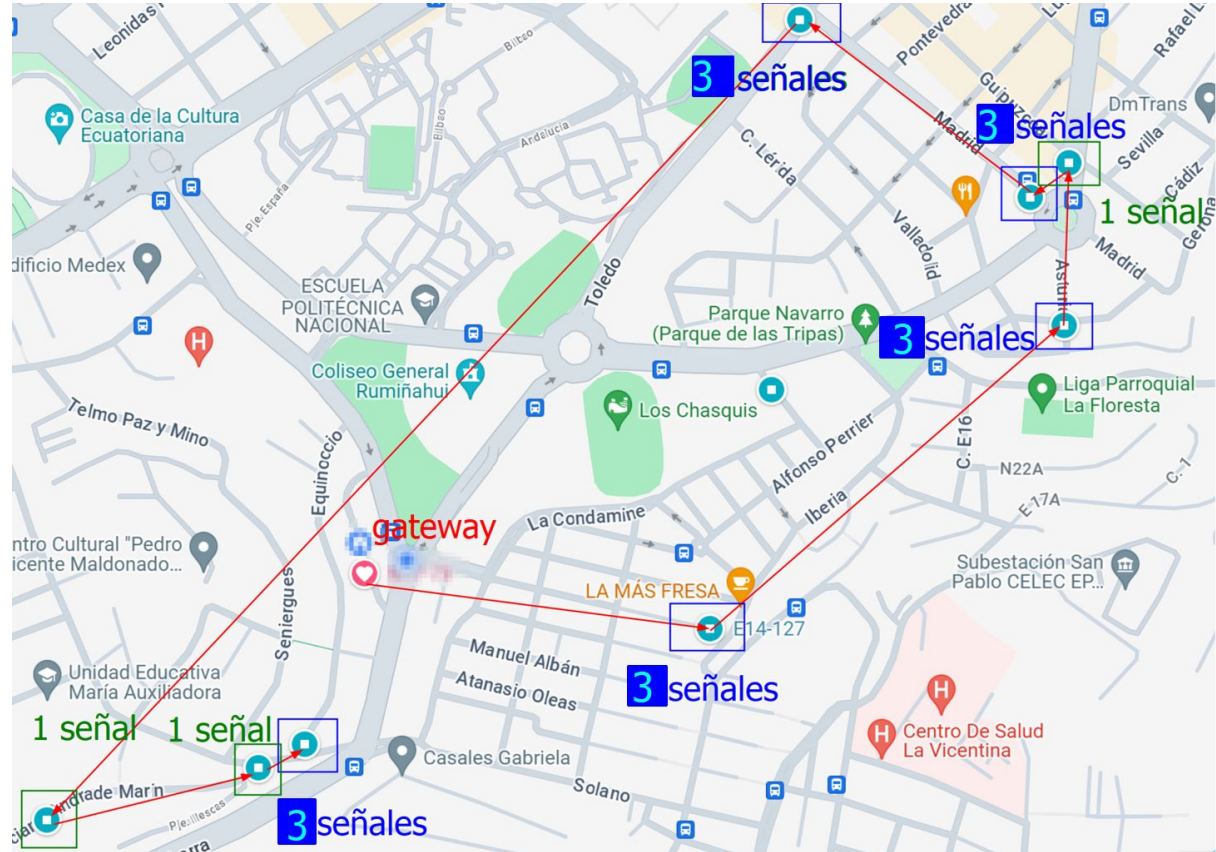


Tabla resumen y estadísticas

Figura 14.
Estadísticas generadas automáticamente por el Gateway IoT LoRaWAN.

Clear History									
Received					Sent				
CRC Errors	184001	Duplicates Acked	0						
Duplicates	125	Packets Acked	66117						
Join Duplicates	29	Total Join Responses	19184						
Join Requests	39460	Join Responses Dropped	0						
MIC Failures	60371	Total Packets	161187						
Total Packets	221883	Packets Dropped	2						

Node Address	EUI	Join Time	Class	RSSI (avg)	SNR (avg)	Pkts Up	Pkts Down	PER	Details
00:1c:35:12	15--17-	2019-07-17 18:40:55	A	0	0	0	0	0.00%	
00:b3:ed:b6	c2--72-	2019-07-25 11:45:32	A	0	0	0	0	0.00%	
00:dd:32:b5	34--56-	2020-02-13 12:50:11	A	0	0	0	0	0.00%	
00:ec:6c:ad	e9---9f	2024-07-25 14:37:18	A	-52	9.6	138	11	0.00%	
01:0b:ba:1c	35--e7-	2019-07-25 11:57:55	A	0	0	0	0	0.00%	
01:3c:8a:41	65---47	2024-07-25 14:37:15	A	-48	9.1	829	22	0.12%	
01:4b:68:56	03--d0-	2020-05-20 16:40:53	A	0	0	0	0	0.00%	
01:5e:22:11	65---4-3b	2024-07-25 14:37:19	A	-47	9.4	174	13	1.69%	
01:bd:ea:f4	65---c-3b	2024-07-25 14:37:11	A	-74	9	171	27	0.58%	
01:c4:d4:d6	cb--0c-	2019-07-25 11:21:24	A	0	0	0	0	0.00%	
01:d1:16:1e	54---6c	2024-07-25 14:36:43	A	-38	8.8	212	212	0.93%	
01:f2:70:ec	4e--52-	2023-06-07 14:12:05	A	0	0	0	0	0.00%	

Radio y RSSI

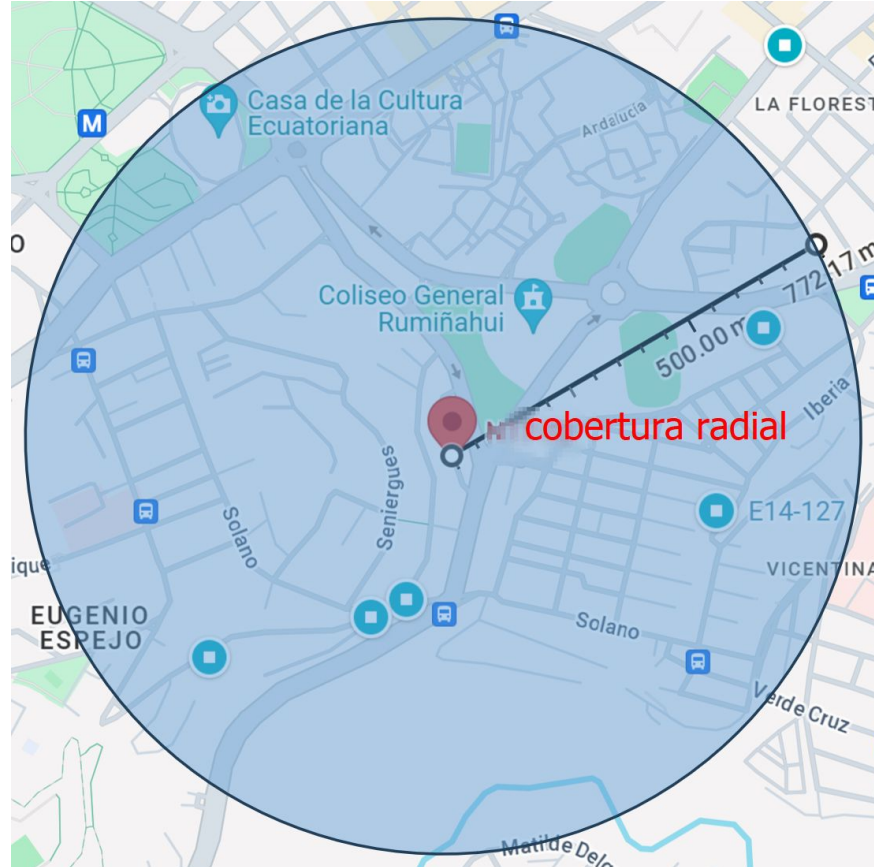
Tabla 2. Detalle de los valores obtenidos durante el proceso de revisión de cobertura.

Punto	Coordenadas Geográficas (lat, long)	Radio [km]	RSSI [dBm]
1	-0.21635289214710393, -78.48699592845549	0.49142	-104
2	-0.21238826087547075, -78.48248012827639	1.04	-112
3	-0.2108948569030681, -78.48306682672487	1.07	-111
4	-0.20865475067615255, -78.48591142526287	0.96945	-112
5	-0.2176507308594256, -78.49206286960128	0.26571	-113
Valores promedio		0.767	-110

Radio de cobertura

Figura 15. Representación de la cobertura de la señal.

El área de cobertura es de
aproximadamente 1.85 [km²]
(no en directa línea
de visión)



Consumo energético

Figura 16. Indicadores LEDs del rendimiento del powerbank respecto a los dispositivos.



Costo por Dispositivo

Tabla 3. Costo aproximado de los componentes y materiales. No se abarca precios de diseño, investigación ni pruebas.

Dispositivo	Cantidad	Precio unitario [USD]	Subtotal [USD]
Heltec Automation Wireless Stick(V3)	5	\$ 21.99	\$ 109.95
PowerCore III 10K Wireless (A1617)	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Protoboard	5	\$ 5.00	\$ 25.00
Alambre de cobre grueso [1m]	1	\$ 7.00	\$ 7.00
Paquete alambres de cobre [1m]	1	\$ 3.00	\$ 3.00
Cable de carga USB C	5	\$ 17.50	\$ 87.50
Módulo sensor Gikfun DHT11	5	\$ 10.00	\$ 50.00
Módulo sensor Gikfun EK1940 v1.2 (SKU:SEN0193)	2	\$ 8.68	\$ 17.36
Módulo sensor Gikfun DS18B20	5	\$ 11.00	\$ 55.00
Módulo relé SRD-05VDC-SL-C	3	\$ 10.00	\$ 30.00
Lámpara LED	1	\$ 7.00	\$ 7.00
Total aproximado [USD]			\$ 441.81
Total aproximado con impuestos [USD]			\$ 451.53
Total aproximado por dispositivo [USD]			\$ 90.31

Conclusiones

En el presente **TIC** se **diseñó e implementó** los **módulos de medición y accionamiento** de un sistema de monitoreo para cultivos en una granja, usando un **microprocesador ESP32**, **módulos de sensores** de temperatura y humedad, red **LoRaWAN**, servidor de **mensajería MQTT** y la **aplicación Node-RED**.

Este módulo permite **evaluar** las **condiciones del entorno** monitoreadas y **brindar interacción** con **sistemas eléctricos asociados**.

La **señal promedio de transmisión** obtenida es ~ -110 [dBm], con una **cobertura radial** de ~ 0.77 [km].

Recomendaciones

Emplear microprocesadores, módulos de sensores y relés de **marcas reconocidas**, para procurar **compatibilidad** entre las bibliotecas de programación disponibles.

Esto con el fin de contar con **documentación bien redactada y con suficiente detalle** para facilitar y acelerar la etapa de implementación del TIC.

¿Preguntas?

Dudas y Aclaraciones

TIC 2024A

Ingeniería en Computación

Implementación física de un prototipo de monitoreo de temperatura y humedad del suelo y ambiente mediante equipos de desarrollo de bajo costo y comunicación LoRaWAN.

