

Proyecto LoRa Tracker GPS: Estimación de Tiempos de Llegada de Autobuses en el TEC

Elías Miranda Cedeño
EL5610: Taller Integrador
Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Email: eliasmice@estudiantec.cr

Jesús Molina Serrano
EL5610: Taller Integrador
Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Email: jesusam28@estudiantec.cr

Dahianna Rivera Rodríguez
EL5610: Taller Integrador
Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Email: dahianna.rivera@estudiantec.cr

Abstract—Este proyecto describe un dispositivo de transmisión GPS basado en el modelo LILYGO T-Beam V1.2 Meshtastic ESP32 LoRa WiFi BLE GPS, diseñado para transmitir datos de geolocalización en tiempo real mediante la red APRS. La principal aplicación del sistema es estimar los tiempos de llegada de autobuses a paradas estratégicas dentro del campus del Tecnológico de Costa Rica.

Index Terms—Sistema LoRa, GPS, APRS, estimación de tiempos, Tecnológico de Costa Rica, Internet de las Cosas (IoT)

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto implementa un sistema de rastreo de autobuses dentro del campus del Tecnológico de Costa Rica (TEC) utilizando tecnología LoRa para transmitir datos de geolocalización en tiempo real. El dispositivo instalado en los autobuses utiliza GPS para determinar su ubicación y calcula el tiempo estimado de llegada a las paradas. Los datos se envían mediante la red APRS y se presentan en las pantallas ubicadas en las paradas estratégicas del campus.

II. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema está compuesto por varios módulos interconectados que trabajan de manera coordinada. A continuación se describen los niveles de la arquitectura, los cuales detallan los principales procesos involucrados en el funcionamiento del dispositivo.

A. Diagrama de Primer Nivel

El diagrama de primer nivel muestra la arquitectura general del sistema. Las entradas del sistema incluyen la señal GPS y la información del usuario. Los procesos incluyen la captura de datos GPS, la generación de paquetes APRS, la transmisión de datos mediante LoRa y la conexión a la red APRS. Como salida, el sistema envía los datos a la red y recibe confirmación de la transmisión.



Fig. 1. Diagrama de Primer Nivel de la Arquitectura del Sistema

B. Diagrama de Segundo Nivel

En el diagrama de segundo nivel se describen con mayor detalle los procesos clave del sistema, como la captura de datos GPS, la estructuración y codificación de los paquetes APRS y la transmisión de los datos mediante LoRa.

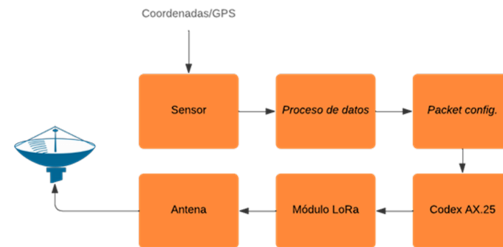


Fig. 2. Diagrama de Segundo Nivel de los Procesos Clave

C. Diagrama de Tercer Nivel

Este nivel se enfoca en los pasos específicos para cada función, tales como la captura de datos GPS, el procesamiento de los datos y la transmisión mediante el módulo LoRa.

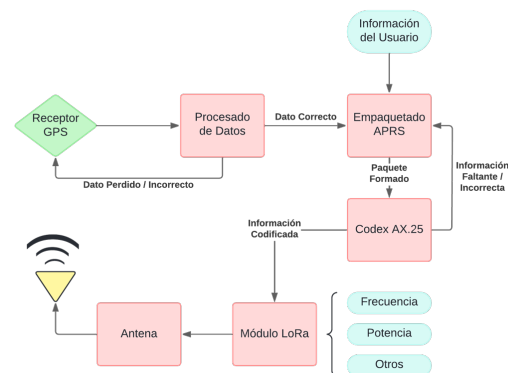


Fig. 3. Diagrama de Tercer Nivel de Funciones Específicas

D. Diagrama de Cuarto Nivel

En el cuarto nivel, se describen los procesos internos más detallados relacionados con el manejo del microcontrolador ESP32, como el ciclo de lectura de GPS, el cálculo de la distancia a las paradas y la estimación del tiempo de llegada. Además, se incluyen detalles sobre la gestión de interrupciones y la transmisión periódica de datos.

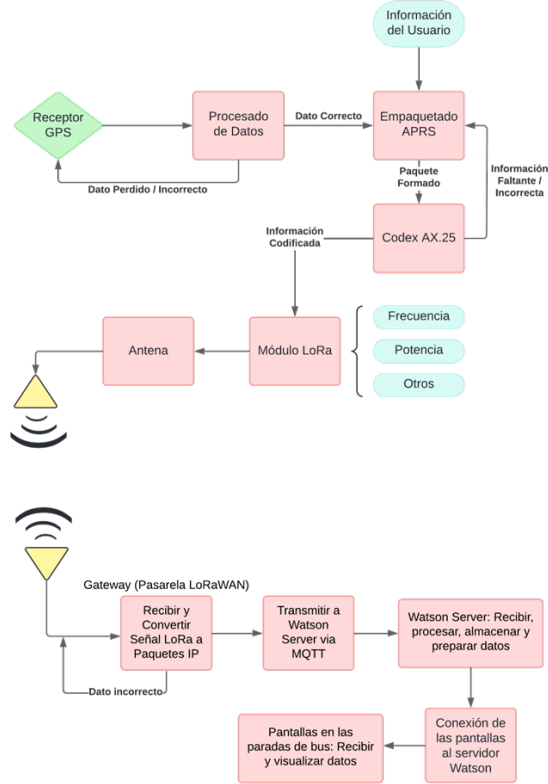


Fig. 4. Diagrama de Cuarto Nivel de Procesos Internos

E. Diagrama de Quinto Nivel

Este nivel es aún más detallado, como se muestra en la Figura 5. Registra el flujo de datos dentro del microcontrolador, desde la lectura de las coordenadas GPS hasta el cálculo de la estimación de llegada y la transmisión de los paquetes APRS mediante LoRa. En este nivel, se incluyen detalles como las funciones del sistema operativo en tiempo real (RTOS), la gestión de buffers de datos y las optimizaciones de energía.

III. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El dispositivo instalado en los autobuses captura las coordenadas GPS en tiempo real, las cuales son procesadas para calcular la distancia hasta las paradas seleccionadas. Con base en la velocidad promedio de los autobuses, se estima el tiempo de llegada y se presenta la información en las pantallas ubicadas en las paradas.

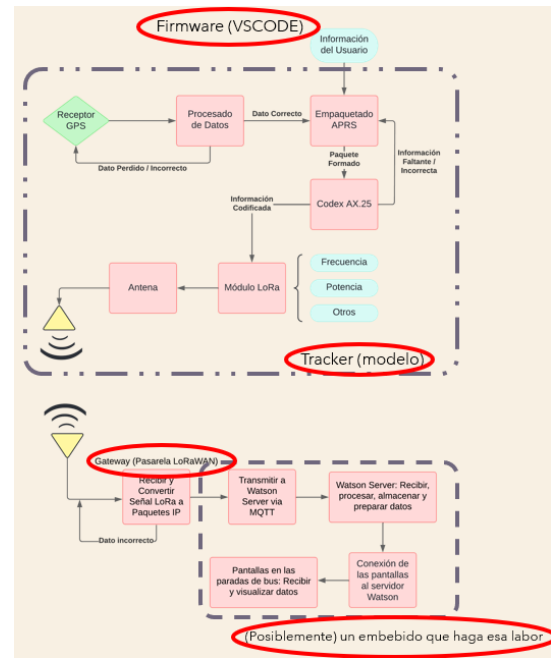


Fig. 5. Diagrama de Quinto Nivel de Flujo de Datos

A. Paradas Estratégicas

Las paradas seleccionadas dentro del campus del TEC son las siguientes:

- Parada Principal del TEC
- Parada Biblioteca JFF
- Parada D3
- Parada Bloque F
- Parada Electrónica
- Parada Comedor del Este

B. Cálculo de los Tiempos de Llegada

El sistema utiliza las coordenadas GPS para calcular la distancia hasta cada parada y luego calcula el tiempo estimado de llegada. Esta estimación se realiza utilizando un algoritmo basado en la velocidad promedio de los autobuses y la distancia a cada parada.

IV. DIAGRAMA DE FLUJO

En la figura 6 se muestra el flujo lógico del sistema, desde el encendido del dispositivo hasta la transmisión de datos a las pantallas de las paradas.

V. COSTO Y MANTENIMIENTO

El sistema tiene un costo inicial asociado a la compra de los componentes físicos y un costo operativo mensual relacionado con el mantenimiento y los servicios de servidor. A continuación, se presenta el desglose de costos:

VI. BILL OF MATERIALS (BOM)

El Bill of Materials (BOM) incluye todos los componentes y materiales necesarios para la implementación del sistema, así como una estimación detallada de los costos operativos.

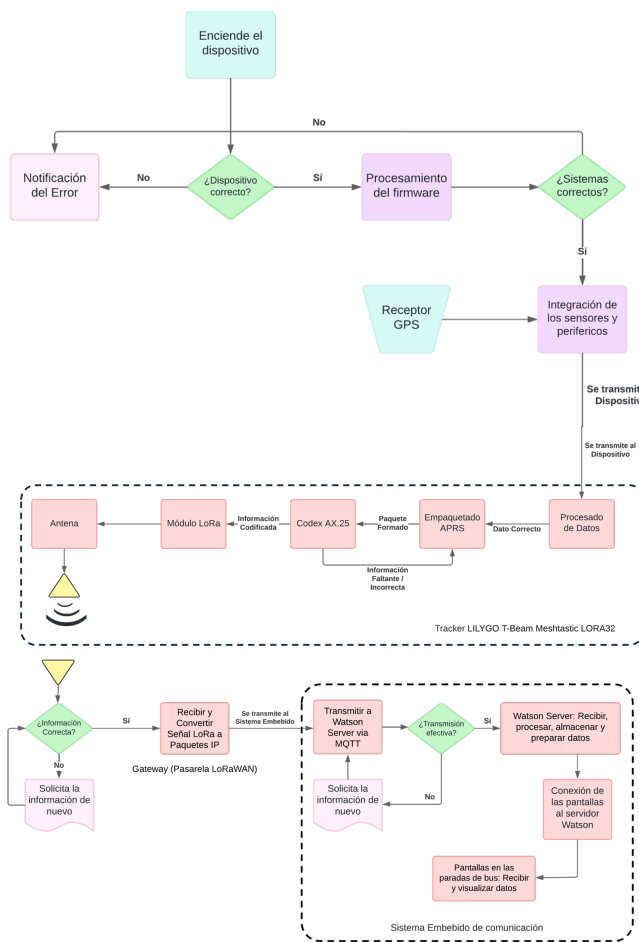


Fig. 6. Diagrama de flujo

A. Componentes Físicos

En la figura 7 se detalla los elementos físicos necesarios para el sistema y costos estimados.

Bill of Material				
Servicio	Costo por Servicio	Estimación de Uso	Subtotal	Referencia
Personal de Mantenimiento	\$2 000,00	1	\$2 000,00	Pago por mes
Servicio de Servidor Watson IoT	\$100,00	1	\$100,00	Pago por mes
Por cada unidad que se pone a operar				
Sistema de registro GPS (Tracker)	\$50,00	1	\$50,00	https://a.co/d/1YsIQp
Sistema de conexión GPS-APRS (iGate)	\$25,00	1	\$25,00	https://a.co/d/aYqShNk
Display Touch interactivo	\$50,00	1	\$50,00	https://a.co/d/aaz64MRg
Módulos ESP32	\$20,00	1	\$20,00	https://a.co/d/aGv3oV
Case para protección	\$32,47	1	\$32,47	
Cables USB	\$8,00	1	\$8,00	https://a.co/d/aKSHANx
Subtotal por unidad extra			\$185,47	
Subtotal por mes a empleador			\$2 100,00	
Estimando que se usen 6 estaciones		6	\$1 112,82	
Total			\$3 212,82	

Fig. 7. Bills of materials

B. Costos Operativos

Además de los componentes físicos, se deben considerar los costos recurrentes asociados con la operación y el mantenimiento del sistema.

1) *Personal de Mantenimiento y Operación*: El costo de mantenimiento incluye el salario mensual de un empleado

capacitado para operar y mantener el sistema de manera eficiente.

- ****Salario Mensual****: \$2000.

2) *Servicio de Servidor Watson*: El servicio contratado de servidor es necesario para almacenar, analizar y presentar los datos que el sistema recoge de las estaciones.

- ****Costo Mensual****: \$100.

C. Costos para Cada Unidad de Operación

A continuación, se presenta un desglose de los costos asociados con cada unidad operativa en las estaciones.

Tabla I
COSTOS POR UNIDAD OPERATIVA

Elemento	Costo Unitario (USD)
Precio por unidad operativa	185.47

D. Estimación Total para 6 Estaciones

Considerando un sistema con ****6 estaciones****, el desglose de costos estimados es el siguiente:

Tabla II
ESTIMACIÓN TOTAL PARA 6 ESTACIONES

Elemento	Costo Total (USD)
Subtotal por empleado (1 mes)	2100.00
Estaciones (6 unidades)	1112.82
Total Estimado	3212.82

El sistema requiere una inversión inicial para los componentes físicos, además de los costos recurrentes para su operación y mantenimiento.

VII. PRESUPUESTO DE HORAS INVERTIDAS Y REQUERIDAS

Esta sección detalla las horas dedicadas a las distintas etapas del proyecto, tanto las horas ya invertidas como las que se requerirían para completar el desarrollo completo. El cálculo está basado en las actividades realizadas por un equipo de tres miembros, con las horas estimadas por estudiante individual especificadas.

A. Presupuesto de Horas por Etapas del Proyecto

Tabla III
PRESUPUESTO DE HORAS POR ETAPAS DEL PROYECTO

Etapas del Proyecto	Horas por Estudiante	Horas Totales (x3 Miembros)
Investigación	10	30
Diseño	5	15
Implementación	5	15
Periodo Testing	40	120
Implementación Real	5 por prototipo	15 por prototipo
Pruebas Tiempo Real	40 por prototipo	120 por prototipo
Finalización	10	30

B. Detalles por Etapa

- **Investigación (10 horas por estudiante):** Investigación sobre las conexiones, alcance de los dispositivos y configuración del servidor.
- **Diseño (5 horas por estudiante):** Diseño de las implementaciones necesarias de hardware.
- **Implementación (5 horas por estudiante):** Ensamblaje del primer prototipo para pruebas iniciales.
- **Periodo Testing (40 horas por estudiante):** Uso del primer prototipo como piloto para validar el diseño y funcionamiento.
- **Implementación Real (5 horas por prototipo):** Desarrollo de prototipos adicionales y su implementación.
- **Pruebas Tiempo Real (40 horas por prototipo):** Evaluación práctica de los prototipos en condiciones reales.
- **Finalización (10 horas por estudiante):** Análisis de resultados y generación de reportes.

VIII. NOTAS IMPORTANTES

- **Sin optimización del ensamblaje:** Las horas no incluyen ajustes para optimizar los procesos de ensamblaje.
- **Estimación por estudiante:** Las horas están calculadas para un estudiante y multiplicadas por tres para reflejar el esfuerzo grupal.
- **Variabilidad en prototipos:** Las horas correspondientes a la implementación real y pruebas de tiempo real dependen del número de prototipos desarrollados.

IX. CONCLUSIONES

El sistema desarrollado para el seguimiento de autobuses en el TEC tiene el potencial de mejorar la experiencia del usuario al proporcionar estimaciones precisas de los tiempos de llegada a las paradas. La utilización de tecnología LoRa y APRS asegura una comunicación eficiente y de largo alcance con bajo consumo energético.