

Avance proyecto Ingegrador

Ricardo Sanchez Calderón*, Marco Umaña Vallejos * y Marco Alfaro Bolaños*

*Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 30101 Cartago, Costa Rica, {, marcoan, }@estudiantec.cr

Resumen—Este trabajo explora el uso del Automatic Packet Reporting System (APRS) como tecnología de comunicación digital en el contexto regulado del espectro radioeléctrico en Costa Rica. Se analiza su funcionamiento tradicional con el protocolo AX.25 y la transición hacia el uso de LoRa, una tecnología de modulación eficiente en entornos de bajo consumo y largo alcance. Además, se plantea un posible caso de uso para un tracker LoRa, considerando las particularidades geográficas y normativas del país.

Palabras Clave—APRS, LoRa, AX.25, IoT, espectro radioeléctrico, PNAF, comunicaciones inalámbricas, Costa Rica.

I. INTRODUCCIÓN

El uso eficiente del espectro radioeléctrico es un componente esencial para el desarrollo y la estabilidad de las comunicaciones inalámbricas modernas. En Costa Rica, esta gestión está regulada por el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), el cual define la asignación de bandas según su finalidad, garantizando un entorno ordenado y libre de interferencias para los distintos servicios que dependen de esta tecnología [1].

Dentro de este contexto regulado, surgen múltiples sistemas que aprovechan los avances en la transmisión de datos. Entre ellos, el Automatic Packet Reporting System (APRS) destaca como un método eficaz de comunicación digital entre estaciones de radioaficionados, sensores y otros dispositivos distribuidos. Esta tecnología no solo facilita el intercambio de información en tiempo real, sino que también permite su integración con Internet mediante APRS-IS, ampliando significativamente su alcance y funcionalidad.

El APRS opera sobre distintos protocolos, siendo el AX.25 uno de los más tradicionales. Sin embargo, en los últimos años ha ganado terreno el uso de LoRa, una tecnología de modulación que se adapta perfectamente a entornos de bajo consumo y largo alcance, características especialmente valoradas en aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT). Su adopción en este tipo de proyectos ha demostrado ser una solución eficiente para la recolección de datos y monitoreo remoto en zonas de difícil acceso o con infraestructura limitada.

En este documento se examinan los aspectos técnicos y operativos de APRS, la evolución de sus protocolos de comunicación, y el papel que juega la normativa nacional en el despliegue adecuado de estas tecnologías inalámbricas en el país. Además se explora un posible uso para un tracker LoRa en Costa Rica.

II. ESTADO DEL ARTE

II-A. ¿Qué es APRS?

El Automatic Packet Reporting System (APRS) es un sistema de comunicación digital en tiempo real diseñado para facilitar el intercambio bidireccional de información entre múltiples nodos de una red compartida. Este mecanismo permite que los dispositivos APRS capturen y difundan datos relevantes dentro de su entorno, lo cual posibilita una interacción dinámica entre estaciones móviles, fijas, sensores y otros dispositivos integrados en la red [2].

Los datos generados por los dispositivos APRS se transmiten a través de frecuencias compartidas y suelen ser retransmitidos localmente por repetidores (*digipeaters*), lo que amplía su cobertura. Posteriormente, esa información puede ser re- dirigida hacia Internet mediante *puertas de enlace* (*IGates*), que actúan como receptores conectados en línea. Estos IGates inyectan los datos al sistema *APRS-IS* (*Internet Service*), permitiendo que los usuarios alrededor del mundo puedan acceder a la información a través de diversas plataformas [3]. Este tipo de red es ampliamente utilizado en aplicaciones como geolocalización con GPS, monitoreo remoto, telemetría y transmisión de datos en redes de área local (LAN).

II-A1. Protocolos de comunicación utilizados en APRS: APRS es compatible con una variedad de protocolos de comunicación [4], cuya elección dependerá del tipo de aplicación y del entorno en el que se implemente. A continuación, se describen los principales:

■ AX.25

Basado en el protocolo X.25 pero adaptado para su uso en radioaficionados, AX.25 es el más común en sistemas APRS. Este protocolo permite la transmisión de datos mediante *Packet Radio* y suele operar en enlaces de VHF utilizando módems AFSK a una velocidad de 1200 bps. En el caso específico de Costa Rica, una frecuencia habitual es *144.390 MHz* [1].

■ APRS-IS

Este componente extiende las capacidades del APRS al integrarlo con Internet. Emplea el protocolo *TCP/IP* para establecer comunicación entre estaciones APRS, IGates y servidores remotos, permitiendo así el acceso global a los datos transmitidos en la red local [4].

■ LoRa

LoRa (*Long Range*) es una tecnología de modulación basada en chirps de espectro expandido, lo que le permite transmitir señales resistentes a interferencias a largas distancias y con un consumo energético muy bajo. Esta

característica la convierte en una solución ideal para aplicaciones donde se transmiten datos de forma esporádica y no se requiere gran velocidad, como en el monitoreo ambiental o en entornos rurales [5].

II-B. Aplicaciones y ventajas de LoRa

LoRa se ha posicionado como una tecnología clave en el desarrollo del *Internet de las Cosas (IoT)*, especialmente en proyectos que requieren comunicaciones remotas y autónomas. Gracias a su alcance superior al de tecnologías como WiFi o Bluetooth y su eficiencia energética [6], se ha implementado exitosamente en:

- **Agricultura y sistemas de riego**, donde permite automatizar decisiones a distancia con mínima supervisión.
- **Ciudades inteligentes**, como en el seguimiento del transporte público, control de calidad del aire o sistemas de seguridad distribuidos.
- **Supervisión de infraestructura**, incluyendo puentes, edificios y sistemas de generación solar, como paneles fotovoltaicos.

En Costa Rica, LoRa utiliza las bandas libres de 902 a 928 MHz, lo que permite su uso sin requerimientos de licencias específicas. Además, existen múltiples dispositivos compatibles, como el *ESP32 Doit*, una placa de desarrollo que incorpora el módulo *ESP32-WROOM-32*. Este módulo no solo es compatible con LoRa (a través de shields o módulos externos), sino que también ofrece conectividad WiFi y Bluetooth, con frecuencias de reloj variables entre 80 MHz y 240 MHz, lo que lo convierte en una plataforma versátil para proyectos de sensado y control.

III. CONEXIÓN DEL DISPOSITIVO TRACKER

La conexión del dispositivo se realiza por medio de Visual Studio Code, utilizando la extensión PlataformIO, una vez se tiene el código descargado del repositorio se procede a realizar ciertos cambios importantes para la configuración del dispositivo como lo son los callsign y encender algunos leds del tracker para estar seguros de cuando está transmitiendo información. También verificamos que la versión de firmware seleccionada sea la correcta para nuestro dispositivo y cargamos el programa por medio de cable USB.

Una vez que el programa termine de cargar, la pantalla del LoRa cambiará y mostrará la información importante de nuestro callsign.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En las figuras 1 y 2 se presenta el dispositivo tracker conectado y transmitiendo información.

V. POSIBLE USO

El uso que se quiere dar para este proyecto es la implementación de un sistema de rastreo para los trenes de Cartago - San José utilizando la tecnología LoRa para realizar el trackeo de los trenes y enviar datos de geolocalización en tiempo real, de manera el dispositivo de los trenes, usando GPS y



Fig. 1. Tracker funcionando correctamente con el debido nombre

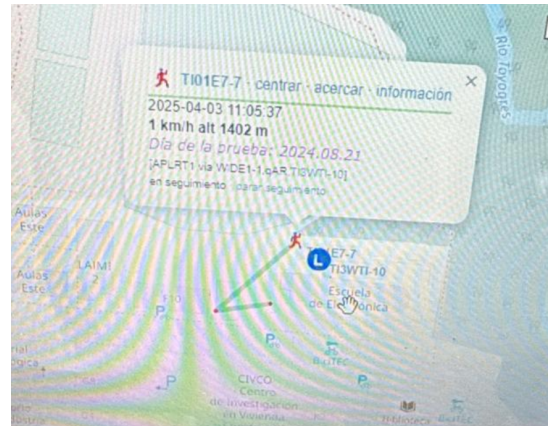


Fig. 2. Prueba de conexión en la página web con el debido nombre

la localización, pueda calcular el tiempo estimado de llegada del tren a la parada correspondiente.

A continuación, en la figura 3 se muestra el diagrama de primer nivel del sistema:



Fig. 3. Diagrama de primer nivel del sistema

En este diagrama se muestran las entradas al sistema, el cual sería la información del usuario y la señal GPS, de manera que con esto se generan los paquetes APRS y se da la transmisión por medio de la conexión de red APRS. En la salida se muestra que el sistema envía los datos de la red y recibe la información transmitida.

REFERENCIAS

- [1] “Plan nacional para la seguridad, nutrición y erradicación del hambre,” 2025. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC177242/>
- [2] Santa Barbara Amateur Radio Club, *Automatic Packet Reporting System – APRS*, Std., 2024. [Online]. Available: <https://www.sbarc.org/aprs/>
- [3] Ham Radio Prep, *Beginner’s Guide to Using APRS for Ham Radio*, Std., 2024. [Online]. Available: <https://hamradioprep.com/aprs-for-ham-radio/>
- [4] Themodernham, *Modern Introduction to Packet Radio, AX25, APRS and TCP/IP*, Std., 2024. [Online]. Available: <https://themodernham.com/modern-introduction-to-packet-radio-ax25-aprs-and-tcp-ip/>
- [5] Isle of Avalon Amateur Radio Club, *What are LoRa and LoRaWAN?*, Std. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>
- [6] —, *LoRa-APRS as used in SOTA*, Std. [Online]. Available: <https://www.avalonarc.org.uk/2024/07-30-aprs-lora.html/>