

Sistema de transmisión APRS usando LoRa

Dylan Muñoz Conejo*, Jesús Rojas Vargas* y Pedro Medinila Robles*

*Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 30101 Cartago, Costa Rica,
{dylan4rod4, jesusrv, pedro.medinila}@estudiantec.cr

Resumen—Este reporte presenta la implementación y el funcionamiento de un sistema de transmisión APRS con LoRa, específicamente se centra en la funcionalidad del *iGate*. El sistema APRS (Automatic Packet Reporting System) es utilizado por radioaficionados para transmitir información en tiempo real, como datos de ubicación y de meteorología. El *iGate* es el componente que recibe paquetes APRS a través de RF y los reenvía a Internet. Se llevó a cabo la instalación y la configuración de la placa *iGate* LILYGO® TTGO LoRa32 V2.1_1.6 verificando su funcionalidad a través de los mapas de los sitios web de APRS. La solución propuesta ofrece una funcionalidad APRS rentable y eficaz para los radioaficionados, concluyendo así con una correcta implementación del dispositivo para transmisión de datos.

Palabras Clave—APRS, radioafición, tracker, *iGate*, LoRa

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas APRS (Automatic Packet Reporting System) brindan una plataforma robusta para la transmisión de datos en tiempo real. Su utilidad se extiende más allá del simple seguimiento de la posición de dispositivos móviles, permitiendo la comunicación eficiente de información crítica como las condiciones meteorológicas, el estado de las rutas de transporte y la coordinación en situaciones de emergencia. La capacidad de integrar APRS con otras tecnologías de comunicación y su compatibilidad con una amplia gama de equipos hacen de este sistema una herramienta versátil y esencial para operadores de radioaficionados, servicios de emergencia y aplicaciones comerciales que requieren una monitorización precisa y fiable.

El presente informe explora la implementación y el funcionamiento de un sistema LoRa APRS con *iGate*, el cual integra tecnologías de comunicación de radioaficionados y redes de datos. Este sistema se basa en una placa con un ESP32, que incluye la tecnología LoRa, proporcionando una solución eficiente energéticamente y de largo alcance para la transmisión de información.

II. MARCO TEÓRICO

II-A. APRS

Se trata de un sistema basado en radioaficionados que facilita la comunicación digital en tiempo real de información valiosa en áreas locales. Se trata de un sistema automatizado de seguimiento de posiciones, lo que significa que podemos visualizar en un mapa la ubicación de estaciones de radioaficionados, ya sean fijas o móviles.

Esta información puede incluir desde coordenadas GPS de objetos hasta datos de telemetría de estaciones meteorológicas, mensajes de texto, anuncios, consultas y otros datos relevantes.

APRS utiliza el protocolo AX.25 para la transmisión de paquetes digitales. Los paquetes APRS se transmiten mediante tramas "UI" (de información, no numeradas) en modo desconectado. En cuanto a las modulaciones y frecuencias, APRS utiliza principalmente modulaciones de desplazamiento de frecuencia (FSK), específicamente (Audio Frequency-Shift Keying) a 1200 bps. Las frecuencias VHF utilizadas para APRS varían según la región. Para el caso de América del Norte, Colombia, Chile, Costa Rica, Nicaragua, Panamá se utiliza una frecuencia de 144.39 MHz.

El sistema se compone principalmente de una amplia red o circuito inalámbrico (RF) distribuido por todo el mundo. Esta red está formada por nodos que actúan como repetidores de la señal emitida por una estación que reporta, utilizando repetidoras digitales o digipeaters. [1].

II-B. LoRa

LoRa (*long range*, en inglés) es una tecnología de comunicación por radiofrecuencia que se basa en técnicas de modulación de espectro ensanchado derivadas de la tecnología CSS (*Chirp Spread Spectrum*). Utiliza una modulación de amplio espectro, lo que la hace ideal para resistir interferencias y para que la señal pueda seguir múltiples caminos. Aunque tiene un ancho de banda reducido, está diseñada para satisfacer las necesidades de dispositivos conectados.

LoRa combina un bajo consumo energético con un alcance efectivo considerable, que puede llegar hasta 10 o 20 km en condiciones de visión directa. Además, facilita la conexión de dispositivos que intercambian pequeñas cantidades de datos a baja velocidad, con velocidades de transferencia que van desde los 0.3 kbps hasta los 50 kbps.

Las frecuencias de operación varían según el país y generalmente incluyen las bandas de 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz. [2]

II-C. Meshtastic

Meshtastic es un proyecto de código abierto que se enfoca en crear una red de radios de baja potencia basadas en software para comunicaciones de grupo. Utilizando el protocolo LoRa-WAN, estos transceptores pueden transmitir y recibir datos a través de una red de nodos.

La esencia de Meshtastic radica en su simplicidad y escalabilidad, con aplicaciones dirigidas hacia el seguimiento de personas y la transmisión de datos entre participantes. Meshtastic permite a los usuarios establecer una red de radios de baja potencia, utilizarla para comunicaciones de datos y realizar seguimiento de personas y objetos. Configurando una

estación base y nodos se puede crear y gestionar la red, establecer canales de comunicación, formar grupos y enviar mensajes de texto y voz, todo mientras utilizan la red para el seguimiento de personas y objetos según sea necesario. [3]

II-D. Transmisor (Tracker)

El transmisor o *Tracker* se trata de una placa de desarrollo con GPS incorporado, su función principal es ir registrando la posición de manera automática. Lleva su propio firmware y no requiere conexión a internet. La tarjeta utilizada generalmente en conjunto al *iGate* implementado en este proyecto es la Lilygo TTGO T-Beam es una tarjeta de desarrollo de IoT con comunicación WiFi, Bluetooth, GPS NEO-6M y LoRa32 a 433 MHz / 470 MHz. Cuenta con soporte para batería 18650 en la parte trasera, lo cual facilita su uso portátil. [4]

II-E. Receptor (iGate)

En el contexto del APRS, los dispositivos *iGate* y Digi juegan roles cruciales. Un *iGate* es un dispositivo que recibe paquetes APRS a través de RF (radiofrecuencia) y los reenvía a Internet, haciendo que la información sea accesible globalmente a través de la red APRS. En nuestro sistema, el ESP32 actúa como un *iGate*. Por otro lado, un Digi (Digipeater) amplifica y retransmite señales APRS, extendiendo el alcance de las transmisiones al retransmitir paquetes entre estaciones de radioaficionados. El ESP32 también cumple esta función en nuestra implementación.

El funcionamiento del *iGate*/Digi se basa en la recepción de paquetes APRS a través de RF, los cuales son procesados por el ESP32 y enviados a Internet o retransmitidos según sea necesario. Esto permite a los radioaficionados acceder a la información en tiempo real a través de la red APRS, mejorando significativamente la comunicación y el intercambio de datos en la comunidad de radioaficionados. [4]

III. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Un sistema de transmisión APRS utilizando tecnología LoRa es una innovadora forma de comunicación de datos en la radioafición, optimizando el alcance y la eficiencia energética. El APRS permite la transmisión de información de posición, telemetría y mensajes utilizando paquetes de datos. En el contexto de LoRa, que es una modulación de radio diseñada para comunicaciones de largo alcance y baja tasa de datos, se mejora la cobertura y la penetración en entornos difíciles.

Los componentes clave de un sistema APRS con LoRa se observan en el diagrama de segundo nivel de la figura 1. Este sistema incluye: *tracker*, *digipeater* y el *iGate*. Cabe recalcar que para este caso, el *digipeater* no es necesario dado que la cobertura en la que se trabajó no está tan limitada. Además, para efectos de este proyecto se realizó la configuración de la placa de desarrollo *iGate*.

En la tabla I se presenta el listado de materiales (*Bill Of Materials*) de los materiales necesarios para la implementación del sistema de transmisión APRS.

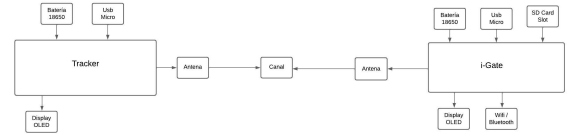


Figura 1. Diagrama de segundo nivel del sistema de transmisión APRS.

Tabla I
LISTA DE MATERIALES

Componente	Cantidad	Precio (€)
Placa tracker LILYGO® TTGO Meshtastic T-Beam V1.1	1	21,700
Placa iGate LILYGO® TTGO LoRa32 V2.1_1.6	1	11,550
Batería de Litio 18650 (3500 mAh)	1	3,696
Batería Li-Po 3.7 V 2300 mAh con conector JST 1.25MM de 2 pines	1	3,192
Cable microUSB a USB 2.0	1	1,300
Total	5	41,438

III-A. Instalación y configuración de un iGate LoRa-APRS

El procedimiento seguido para la configuración de la placa *iGate* se basa en el repositorio publicado por Richon Guzmán en **GitHub** [4].

El primer paso consiste en elegir el hardware adecuado para el proyecto. Se seleccionó la placa *iGate* LILYGO® TTGO LoRa32 V2.1_1.6.

Una vez seleccionado el hardware, el siguiente paso es configurar el firmware con los parámetros adecuados para el correcto funcionamiento de la placa. Para esto, primero se debe descargar e instalar el software *Visual Studio Code*, un editor de código fuente desarrollado por Microsoft, desde el siguiente enlace: <https://code.visualstudio.com/download>

Con *Visual Studio Code* instalado, se procede a descargar e instalar la extensión Platformio IO desde el siguiente enlace: <https://platformio.org/install/ide?install=vscode>

Luego, se accede al repositorio de Richon Guzmán y se descarga el paquete de librerías correspondiente al LoRa-APRS *iGate* [4].

El siguiente paso es abrir *Visual Studio Code* y editar los parámetros relevantes para la configuración de la placa. Para esto, se abre *Visual Studio Code* y se selecciona **File - Open Folder**.

Se busca y selecciona la carpeta descargada desde el repositorio de *GitHub* de Richon Guzmán. Esto cargará la carpeta en *Visual Studio Code*, la cual contiene varias subcarpetas con las librerías necesarias para programar la placa que se utilizará como *iGate*.

Una vez cargada la carpeta del *iGate*, se ubica el archivo **is-cfg.json** que se encuentra en la subcarpeta **data**. A continuación, se presenta este archivo dividido en un par de imágenes para mostrar los cambios realizados al código original y proporcionar una mejor explicación de los parámetros.

El primer parámetro relevante es el acceso a internet, por lo tanto, es necesario colocar el SSID y la contraseña de la red WiFi. Luego, se debe configurar el indicativo, o *callsign*,

conocido en radiocomunicación como el identificador único de la estación móvil o fija. Esto es importante ya que es la forma en la que se podrá rastrear desde los sitios APRS, como <https://aprs.fi/#!lat=9.9333&lng=-84.0845>. En la figura 2 se muestra la configuración de estos parámetros.

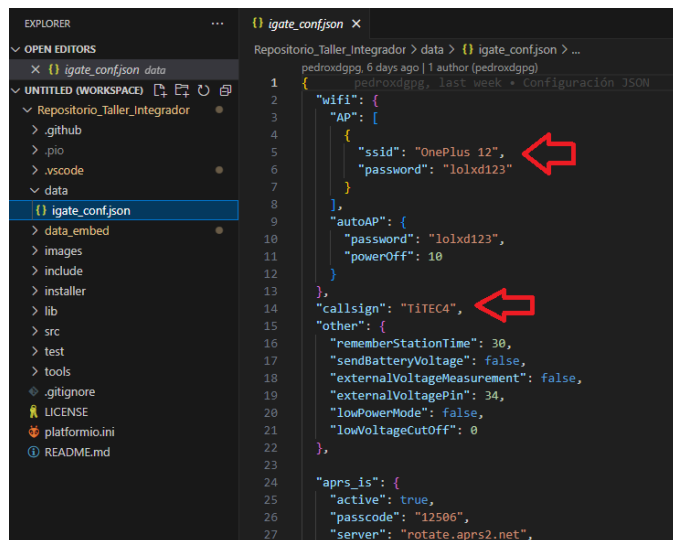


Figura 2. Configuración de parámetros.

Por otro lado, se encuentran los parámetros de las coordenadas que ubican la placa o estación fija. En este caso, la placa *iGate* se ubicó cerca del Estadio Fello Meza en Cartago, Costa Rica, por lo que se ingresaron las coordenadas correspondientes. Asimismo, se modificó el parámetro de *comment*, que simplemente se encarga de mostrar dicho comentario en los sitios de APRS. En la figura 3 se observan los cambios.

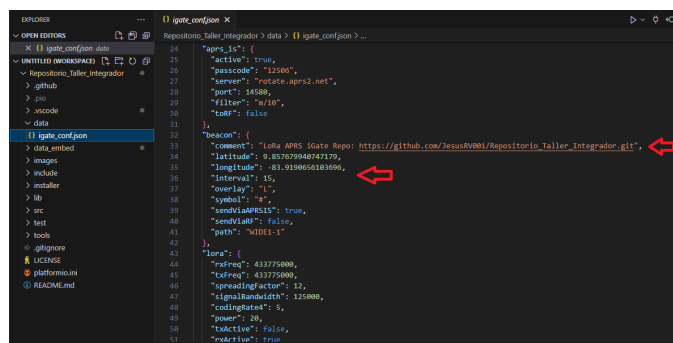


Figura 3. Configuración de parámetros.

Una vez modificado el archivo **is-cfg.json**, se debe compilar y programar la placa *iGate*. Finalmente, se sube la imagen del archivo en Platformio. Una vez hecho esto, el *iGate* está listo. Se verifica que el indicativo de la placa *iGate* aparezca en los mapas de APRS. En la figura 5 se confirma su funcionamiento.

III-B. Especificaciones del Tracker (Estación móvil)

El *tracker* es el dispositivo móvil que envía datos de posición GPS y otra información relevante a través de LoRa.

Está compuesto por un módulo GPS, un transmisor LoRa, y una unidad de procesamiento que formatea y envía los datos en forma de paquetes APRS. En la tabla II se resumen sus especificaciones más relevantes de la placa de LILYGO. [5]

Tabla II
ESPECIFICACIONES DEL TRACKER

Categoría	Especificaciones
Entradas	- Entrada USB - Conector para batería tipo 18650
Salidas	- Conector SMA para antena 3D - Display OLED
Funciones	- MCU ESP32 - GPS - Software Meshtastic 2.0 - Tecnología LoRa - Versiones para distintas frecuencias - Compatibilidad con WiFi y Bluetooth - 8MB de PSRAM - 4MB de memoria Flash - Serial Chip CH9102 - Wireless protocol Wi-Fi + Bluetooth 4.2 - PMU AXP2101 - 3 botones (Power+IO38+Reset)
Alimentación	- Batería tipo 18650 o USB - Voltaje de trabajo de 1.8 a 3.7 V

III-C. Especificaciones de la iGate (Estación fija)

Este dispositivo recibe los paquetes APRS transmitidos por LoRa y los reenvía a Internet, integrándolos en la red global APRS-IS (APRS Internet System). El *iGate* es crucial para la visualización y el seguimiento en tiempo real de los datos APRS en plataformas en línea, permitiendo que la información enviada por los *trackers* esté disponible globalmente. En la tabla III se resumen sus especificaciones más relevantes de la placa de LILYGO LoRa32. [6].

Tabla III
ESPECIFICACIONES DE LA iGATE

Categoría	Especificaciones
Entradas	- Entrada USB para conectar y alimentar el dispositivo - Conector para batería tipo 18650
Salidas	- Conector SMA para antena 3D WiFi - Display OLED
Funciones	- MCU ESP32 - Software Meshtastic 2.0 - Tecnología LoRa - Compatibilidad con WiFi y Bluetooth - 8MB de PSRAM - 4MB de memoria Flash - Serial Chip CH9102 - Wireless protocol Wi-Fi + Bluetooth 4.2 - Soporte de tarjetas TF - Botones de Reset y Switch de encendido
Alimentación	- Fuente de alimentación dual con Batería tipo Li-Po (JST GH 2pin 1.25mm) o mediante micro USB - Voltaje de trabajo de 1.8 a 3.7 V

III-D. Factores que afectan el funcionamiento del sistema

El funcionamiento de un sistema APRS utilizando tecnología LoRa puede verse afectado por varios factores. A continuación, se detallan los principales:

- **Cobertura de radio:** Principalmente obstáculos físicos como edificios, montañas y vegetación densa que pueden obstruir la señal LoRa, reduciendo la cobertura y efectividad del sistema. De igual manera condiciones atmosféricas como la lluvia, nieve y otras condiciones meteorológicas pueden afectar la propagación de la señal.
- **Interferencia electromagnética:** Otras fuentes de radiofrecuencia como dispositivos electrónicos cercanos y otras transmisiones de radio pueden causar interferencia, degradando la calidad de la señal. En áreas urbanas, el ruido electromagnético puede ser significativo y afectar la recepción y transmisión de los datos.
- **Alcance geográfico:** Los dispositivos deben estar dentro del rango de comunicación LoRa para una transmisión efectiva. En casos de mas cobertura la distribución de digipeaters es importante. La ubicación y el número de digipeaters afectan el alcance general del sistema. Un número insuficiente o una mala colocación pueden crear áreas sin cobertura.
- **Velocidad de movimiento:** La frecuencia de actualización de datos es un factor clave. Un movimiento rápido puede requerir una mayor frecuencia de actualización de los datos de posición, lo que puede poner a prueba la capacidad del sistema para mantener una transmisión precisa y oportuna.
- **Configuración de la red LoRa:** La elección de la modulación, el ancho de banda y la potencia de transmisión afecta el alcance y la robustez de la señal. Además, configurar correctamente los parámetros de la red LoRa es crucial para maximizar la eficiencia y la cobertura.
- **Altura y colocación de antenas:** Antenas colocadas a mayor altura generalmente tienen mejor recepción y transmisión debido a la reducción de obstáculos físicos. La orientación y el tipo de antena (direccional vs. omnidireccional) pueden influir significativamente en la calidad de la señal.
- **Capacidad de adaptación de los dispositivos:** La capacidad del *tracker* para ajustar automáticamente la frecuencia de sus informes según la velocidad y dirección del movimiento puede mejorar la precisión de los datos transmitidos. Además el Firmware y software influyen directamente el rendimiento y la funcionalidad del sistema, por tanto es clave tomar en cuenta las actualizaciones de los fabricantes.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una placa *iGate* recibe los datos de los nodos y los reenvía al servidor de red centralizado, el cual se encarga de filtrar duplicados, gestionar la red y garantizar la seguridad. Posteriormente, los datos verificados se envían a los módulos de la aplicación y otros puntos. Cabe destacar que un solo *iGate* tiene la capacidad de conectar miles de dispositivos LoRa, lo que facilita la creación de redes económicas, amplias y de bajo consumo energético.

Después de verificar el código, se procede a compilarlo en la placa LILYGO LoRa32. Una vez que el código se ejecuta

correctamente, La Placa muestra los datos configurados en el panel, tal como se ilustra en la figura 4.



Figura 4. Placa *iGate* en funcionamiento.

Después de configurar la unidad del *iGate*, se debe verificar en la página de mapa APRS si la unidad permanece activa, tal como se ilustra en la figura 5.

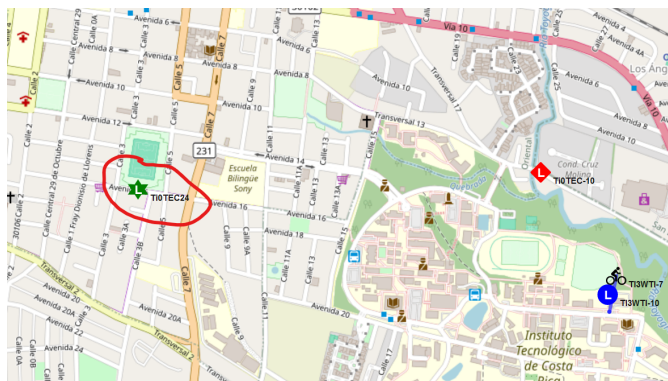


Figura 5. Placa *iGate* en el mapa APRS.

En la pagina donde muestra el mapa de los aprs, si se selecciona el dispositivo configurado debe de mostrar detalles de la placa configurada como se muestra en la figura 6.

V. CONCLUSIONES

La red APRS junto con la tecnología LoRa es esencial para el desarrollo de productos y soluciones de Internet de las Cosas. Sus ventajas clave incluyen una eficiencia energética que permite baterías de larga duración, un alcance de hasta 15 km en línea de vista, un bajo coste de infraestructura y la posibilidad de crear redes privadas. Además, su robustez de señal facilita la penetración en interiores y entornos complejos, también La facilidad de programación de estas tecnologías las hace accesibles para la mayoría de la población.

LoRa es ideal para proyectos IoT en áreas como ciudades inteligentes, logística y agricultura. Permite conectar millones de dispositivos de forma sencilla y económica, lo que contribuye a la expansión de la conectividad en todo el mundo.

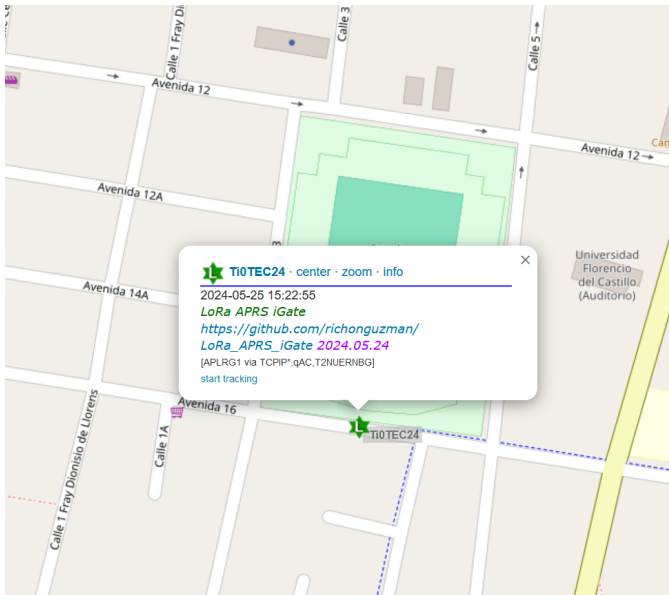


Figura 6. Detalles de la placa *iGate* ubicada en el Estadio Fello Meza.

REFERENCIAS

- [1] “Aprs: Automatic packet reporting system,” 2024. [Online]. Available: <http://www.aprs.org/>
- [2] “What is lora? — semtech lora technology — semtech,” 2019. [Online]. Available: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [3] “Introduction — meshtastic,” 2024. [Online]. Available: <https://meshtastic.org/docs/introduction/>
- [4] R. Guzman, “Lora aprs igate for esp32 based board with rx + tx capabilities,” https://github.com/richonguzman/LoRa_APRS_iGate, 2024.
- [5] “T-beam meshtastic esp32 lora wireless module,” 2024. [Online]. Available: <https://www.lilygo.cc/products/t-beam-v1-1-esp32-lora-module>
- [6] “Lora32 v2.1_1.6 esp32 433/868/915mhz 0.96 inch oled sd card wifi module,” 2024. [Online]. Available: <https://www.lilygo.cc/products/lora3>