

Monitoreo de Migración y Comportamiento de fauna silvestre en peligro

APRS utiliza la red de radioaficionados para transmitir estos paquetes de datos y, gracias a su alcance y flexibilidad, se ha convertido en una herramienta valiosa para aplicaciones de rastreo y comunicación en tiempo real.

El funcionamiento de APRS se basa en la transmisión de datos en paquetes, que incluyen información de posición GPS, estado y mensajes de texto breves. Los paquetes son recibidos por estaciones repetidoras llamadas "digipeaters", que retransmiten los datos para ampliar la cobertura de la red APRS. Además, estaciones base y receptores en internet

Ethan Flores M. Autor. Estudiante TEC | Costa Rica (ethanmontero34@estudiantec.cr)

Skarleth Herrera U. Autor. Estudiante TEC | Costa Rica (skarleth@estudiantec.cr)

Jeison Rivera S. Autor. Estudiante TEC | Costa Rica (jeison.manuel179@estudiantec.cr)

de extinción.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología APRS (Automatic Packet Reporting System) combinada con LoRa se ha convertido en una solución poderosa para el monitoreo y la transmisión de datos en proyectos de rastreo y comunicación de baja potencia y largo alcance. Este sistema permite transmitir información, como ubicación, velocidad, estado del clima y otros datos de telemetría, a través de redes de bajo costo y sin la necesidad de infraestructura compleja. Al integrar LoRa con APRS, es posible mejorar el alcance y la eficiencia energética, haciendo que las estaciones fijas y móviles puedan reportar su posición y otros datos en tiempo real a largas distancias y en áreas de difícil acceso, como entornos rurales o remotos. Esto resulta particularmente útil en aplicaciones de rastreo de fauna, monitoreo ambiental, y comunicación en zonas con infraestructura de comunicación limitada. La configuración de una estación iGate en este sistema permite recibir y reenviar datos de múltiples dispositivos APRS LoRa, brindando un enlace confiable entre los nodos de campo y la red de datos central para su visualización en aplicaciones de mapeo y análisis en tiempo real.

(IGates) pueden recibir estos paquetes y retransmitirlos a través de internet, lo cual permite que la información de APRS esté disponible en plataformas web accesibles desde cualquier lugar del mundo.

Una de las aplicaciones principales de APRS es el rastreo de vehículos, personas o activos en movimiento. Los dispositivos APRS que transmiten datos de GPS permiten conocer la ubicación en tiempo real de quien lo porta, lo que es útil en operaciones de rescate, eventos de radioaficionados y otras actividades al aire libre. Este sistema también es usado en competiciones deportivas y expediciones, donde los participantes pueden ser monitoreados constantemente para garantizar su seguridad.

Además del rastreo, APRS permite enviar datos de telemetría y monitorear el estado de sensores. Esto incluye el monitoreo de condiciones ambientales como temperatura, presión y humedad, así como el estado de otros equipos en estaciones remotas. De esta forma, APRS se emplea en monitoreo de estaciones meteorológicas, medidores remotos y otras aplicaciones de observación de datos a distancia. La telemetría mediante APRS es útil especialmente en áreas remotas, donde otros sistemas de comunicación pueden ser costosos o inviables.

II. MARCO TEORICO

1. APRS

APRS (Automatic Packet Reporting System) es un sistema de comunicación de datos desarrollado por radioaficionados que permite el envío y recepción de información en tiempo real mediante paquetes de radio. Este sistema fue creado por Bob Bruninga en los años 80 y se utiliza principalmente para compartir la ubicación, mensajes de texto cortos y telemetría.

APRS también ofrece un sistema de mensajería de texto breve, similar a los mensajes de SMS. Los usuarios pueden enviar mensajes entre estaciones APRS, lo cual es especialmente útil en situaciones de emergencia o en áreas sin cobertura celular. Esta capacidad de comunicación en tiempo real, combinada con la posibilidad de integrar la red APRS en internet, permite a los radioaficionados y otros usuarios enviar y recibir información esencial en situaciones críticas, proporcionando

un medio de comunicación confiable y versátil para la comunidad de radioaficionados y otros usuarios de APRS.

Automatic Packet Reporting System (APRS)

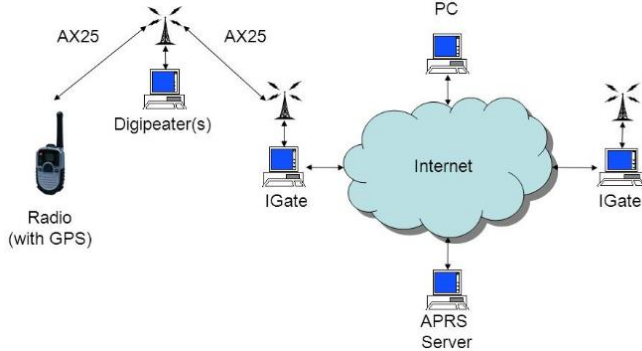


Fig. 1. Sistema de enlace de APRS

2. LoRa

LoRa es una tecnología de modulación de radiofrecuencia diseñada para la transmisión de datos a largas distancias con un consumo de energía extremadamente bajo, ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT). Desarrollada originalmente por la empresa francesa Cycleo y luego adquirida por Semtech en 2012, LoRa utiliza la modulación Chirp Spread Spectrum (CSS), donde la señal se modula con chirps o variaciones de frecuencia. Esta técnica permite que la comunicación sea robusta frente a interferencias y ruido, lo que la convierte en una opción confiable para aplicaciones en entornos ruidosos o difíciles.

Una de las principales ventajas de LoRa es su capacidad para operar en bandas de frecuencia libres, como las bandas ISM (Industrial, Científica y Médica), lo cual permite su uso sin necesidad de licencias costosas. Las frecuencias típicas de operación incluyen 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz, pero también es posible utilizar 2.4 GHz para lograr mayores tasas de datos a distancias más cortas. Estas características hacen que LoRa sea una solución económica y accesible para una amplia gama de aplicaciones.

LoRa es especialmente adecuada para dispositivos de IoT que requieren transmitir pequeñas cantidades de datos a intervalos regulares y en áreas remotas. Gracias a su bajo consumo de energía, los dispositivos LoRa pueden funcionar durante años con una sola batería, facilitando su implementación en zonas de difícil acceso o en entornos donde el cambio frecuente de baterías sería impráctico. Esto la hace ideal para monitoreo ambiental, rastreo de activos y agricultura de precisión, donde la eficiencia energética es crucial.

Otra ventaja importante de LoRa es su excelente penetración de señal y capacidad para mantener comunicaciones estables en entornos urbanos densamente construidos. La modulación CSS permite que LoRa atraviese obstáculos como paredes y edificios, manteniendo una transmisión confiable en interiores

y en aplicaciones industriales. Esto la hace especialmente útil en ciudades inteligentes y redes industriales donde los dispositivos deben operar de forma continua en áreas con alta interferencia y obstrucciones.

En términos de escalabilidad y costo, LoRa permite gestionar miles de dispositivos con una infraestructura mínima. Un solo gateway puede manejar la comunicación de miles de nodos finales, facilitando la creación de redes densas sin grandes inversiones. Además, LoRa permite comunicación bidireccional, esencial para la actualización y administración remota de dispositivos, y junto con el protocolo LoRaWAN, proporciona seguridad robusta con encriptación AES-128, protegiendo la integridad de los datos transmitidos en aplicaciones críticas.

3. APRS LoRa

La combinación de APRS (Automatic Packet Reporting System) con LoRa permite una mejora considerable en el alcance, eficiencia y funcionalidad del sistema. APRS, tradicionalmente utilizado en redes de radioaficionados para rastreo y transmisión de datos, se apoya en frecuencias de radio VHF/UHF y requiere repetidoras para alcanzar grandes distancias. Al incorporar LoRa, una tecnología de comunicación de largo alcance y bajo consumo, se extiende la cobertura y eficiencia de APRS, eliminando la necesidad de tantas repetidoras y facilitando la implementación en áreas remotas o difíciles de cubrir.

Una de las principales ventajas de esta integración es el bajo consumo energético de LoRa, que permite a los dispositivos APRS funcionar con baterías durante períodos prolongados. Esto es especialmente útil para aplicaciones en áreas sin fácil acceso, donde la eficiencia energética es crucial. A diferencia de los radios VHF tradicionales de APRS que suelen requerir energía continua o cambios frecuentes de batería, los dispositivos basados en LoRa pueden operar de manera autónoma en lugares aislados durante meses o incluso años, lo cual es ideal para rastreo de vida silvestre, monitoreo ambiental y otras aplicaciones de IoT (Internet de las Cosas).

Además, la capacidad de LoRa para operar en bandas ISM (Industrial, Científica y Médica), que no requieren licencia, reduce los costos y facilita la implementación de redes APRS en cualquier lugar. A diferencia de las frecuencias VHF y UHF, que pueden estar reguladas por normas locales de radioaficionados, LoRa opera en frecuencias libres (como 433 MHz, 868 MHz o 915 MHz) en muchos países, lo que permite a usuarios y organizaciones desplegar redes APRS sin depender de infraestructura de radioaficionados ni solicitar permisos adicionales.

La combinación de APRS con LoRa también mejora la confiabilidad de la red en entornos urbanos densos y áreas con muchos obstáculos. La modulación de espectro ensanchado de LoRa le permite atravesar paredes y estructuras, logrando un rendimiento robusto incluso en zonas con interferencias. Esto es una mejora significativa frente a la señal de VHF/UHF de APRS, que puede verse afectada en estas condiciones. Gracias

a esta penetración, APRS con LoRa se adapta bien a aplicaciones en ciudades inteligentes y para el monitoreo en interiores de instalaciones industriales.

Finalmente, el uso conjunto de APRS y LoRa facilita la escalabilidad de la red. Con LoRa, un solo gateway puede gestionar cientos o miles de dispositivos en una red densa sin necesidad de infraestructura costosa. Esto permite integrar una gran cantidad de nodos APRS para diversas aplicaciones de monitoreo y comunicación, y lo hace más accesible para redes de IoT. En comparación con APRS convencional, la fusión con LoRa proporciona mayor autonomía, cobertura y versatilidad, lo que amplía el alcance de las aplicaciones de APRS en múltiples sectores y reduce las limitaciones de instalación y operación en redes tradicionales.

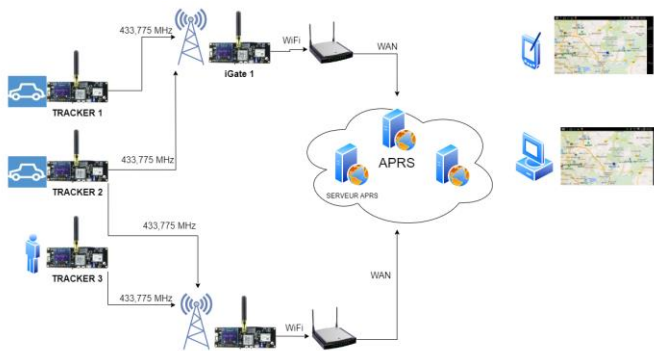


Fig. 2. Sistema de enlace de APRS LoRa

III. APRS LoRa EN EL MONITOREO DE MIGRACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE FAUNA SILVESTRE EN PELIGRO DE EXTINCIÓN.

El monitoreo de la migración y comportamiento de animales en peligro de extinción es una práctica fundamental para la conservación de la biodiversidad, que utiliza tecnología avanzada para rastrear y analizar los movimientos, patrones de vida y comportamientos de estas especies en tiempo real. Este monitoreo permite a los científicos obtener datos precisos sobre los recorridos migratorios, hábitos de alimentación, reproducción y otros aspectos vitales para la supervivencia de las especies. Al entender estos patrones, los conservacionistas pueden tomar decisiones informadas para proteger el hábitat de estos animales, prever riesgos y adaptarse a los cambios ambientales que los afectan, como el cambio climático y la pérdida de ecosistemas.

La tecnología de monitoreo ha avanzado significativamente en la última década, y en 2024, el uso de sistemas como GPS, APRS con LoRa y transmisores satelitales es esencial para la recolección de datos sin perturbar el entorno natural de los animales. Dispositivos compactos, que pueden integrarse en collares o etiquetas, permiten rastrear a los animales durante largos períodos, recolectando datos de ubicación y otras métricas como frecuencia cardíaca, temperatura corporal y condiciones ambientales. Estos dispositivos están diseñados para ser eficientes energéticamente, operando durante meses o años sin recarga, lo que es crucial para monitorear especies en áreas remotas o de difícil acceso.

Los datos recolectados a través del monitoreo de migración y comportamiento son esenciales para la creación de mapas de rutas migratorias y áreas de alimentación, así como para identificar patrones de uso de hábitat. Este conocimiento ayuda a diseñar corredores de conservación, establecer zonas protegidas y evaluar las necesidades específicas de cada especie. Además, permite detectar cambios en las rutas migratorias y comportamientos que podrían ser indicativos de problemas, como la destrucción del hábitat o la presión de la actividad humana en ciertas áreas. Este tipo de información es fundamental para planificar estrategias de conservación adaptativas que respondan a los desafíos que enfrentan estas especies.

Una de las grandes ventajas de implementar APRS LoRa en el monitoreo de la migración y comportamiento de animales en peligro de extinción es su capacidad para transmitir datos a largas distancias con un consumo de energía extremadamente bajo. En zonas remotas, donde las condiciones para el mantenimiento regular de dispositivos son limitadas, el bajo consumo de LoRa permite que los dispositivos de rastreo operen durante años sin intervención humana, asegurando una recopilación de datos continua y sin interrupciones. Esto es esencial para el monitoreo a largo plazo, ya que muchas de estas especies recorren grandes territorios y se encuentran en áreas de difícil acceso, donde cambiar baterías o realizar ajustes es prácticamente imposible.

La tecnología APRS LoRa también permite reducir los costos operativos al aprovechar las bandas de frecuencia ISM, que no requieren licencia, eliminando la necesidad de infraestructura cara o repetidoras de radiofrecuencia adicionales. Esto es especialmente útil en proyectos de conservación de bajo presupuesto, donde los recursos deben maximizarse para monitorear un mayor número de individuos o especies. Además, con APRS LoRa, es posible construir redes extensas de rastreo y monitoreo sin una inversión significativa, permitiendo una expansión flexible a medida que se identifican nuevas necesidades o se incorporan nuevas especies a los programas de monitoreo.

Otra ventaja crucial de APRS LoRa es su capacidad para operar de manera confiable incluso en entornos con interferencias o barreras físicas, como áreas de densa vegetación o regiones montañosas. La modulación de espectro ensanchado de LoRa le permite atravesar obstáculos con mayor facilidad que las señales convencionales, lo cual resulta en una conexión estable y una transmisión de datos sin interrupciones. Este nivel de confiabilidad es fundamental en entornos hostiles o complejos donde otros sistemas de transmisión pueden fallar, asegurando que los datos sobre los movimientos y condiciones de los animales se transmitan de manera efectiva, incluso en áreas con poca o nula cobertura de otros sistemas de comunicación.

Además, APRS LoRa permite recibir alertas en tiempo real cuando un animal cambia su comportamiento de manera inesperada o entra en zonas de alto riesgo, como carreteras o áreas de caza ilegal. Esto es especialmente valioso para la protección activa de los animales, ya que permite a los equipos de campo responder rápidamente ante situaciones de

emergencia. Con esta capacidad de comunicación bidireccional, también es posible enviar actualizaciones a los dispositivos en caso de que se necesiten ajustes en las configuraciones o en las zonas de monitoreo, haciendo que el sistema sea adaptativo y mejorando la eficiencia de los esfuerzos de conservación.

En conjunto, el uso de APRS LoRa optimiza el monitoreo de especies en peligro de extinción al ofrecer una solución rentable, autónoma y altamente confiable. Esto permite a los científicos y conservacionistas obtener datos precisos y continuos, fundamentales para la toma de decisiones estratégicas. Al integrar estos datos en plataformas de análisis, se pueden estudiar patrones de comportamiento y cambios migratorios con un nivel de detalle sin precedentes, lo que es clave para desarrollar planes de conservación efectivos y adaptativos, protegiendo a las especies en riesgo y contribuyendo a la preservación de la biodiversidad en un contexto global.

IV. IMPLEMENTACIÓN

Para el monitoreo efectivo de la migración y comportamiento de animales en peligro de extinción, se ha diseñado un sistema de rastreo robusto y de bajo consumo de energía. Este sistema combina tecnologías avanzadas, como GPS, LoRa y el protocolo APRS, para transmitir datos de ubicación, velocidad y temperatura en tiempo real. A continuación, se presenta el diagrama de bloques que describe cada uno de los componentes principales del sistema de rastreo (o *tracker*), el cual opera de manera autónoma en entornos remotos y difíciles de acceder.

En el diagrama, se detallan los diferentes módulos que conforman el sistema, incluyendo la fuente de alimentación, el procesamiento y muestreo de datos, la transmisión de información y la visualización de estos en una aplicación central. A continuación, se explican cada uno de estos bloques y sus respectivas funciones internas, que en conjunto permiten un monitoreo confiable y preciso de las especies monitoreadas.

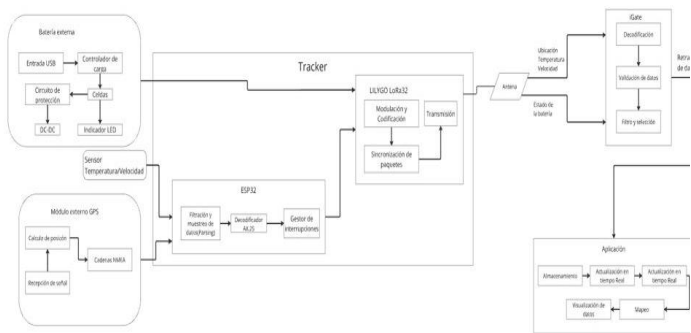


Fig. 3. Diagrama de bloques de la implementación

Batería Externa

Este bloque es el sistema de alimentación del *tracker*, diseñado para ser autónomo y duradero en ambientes remotos. Incluye una entrada USB para recargar, un controlador de carga que regula el proceso y protege la batería. Además, cuenta con celdas para almacenamiento de energía, un circuito de protección para evitar daños en condiciones adversas, un convertidor DC-DC para ajustar la tensión de salida y un indicador LED que muestra el estado de carga de la batería. Este sistema asegura que el *tracker* cuente con energía suficiente para operar en periodos prolongados, crucial para el monitoreo continuo en campo.

Módulo Externo GPS

El módulo GPS es responsable de la localización del animal o del objeto a rastrear. Incluye un sistema de recepción de señal satelital para obtener datos precisos de ubicación. Estos datos son convertidos en el formato NMEA (National Marine Electronics Association), un estándar ampliamente utilizado que permite al *tracker* interpretar y utilizar la información de posición y velocidad. Este módulo es fundamental para el monitoreo de movimientos y patrones de comportamiento, ya que proporciona las coordenadas geográficas necesarias para el seguimiento.

Tracker

1) **ESP32:** El ESP32 actúa como el procesador central del sistema. Dentro de este bloque, se incluyen varias funciones esenciales. La filtración y muestreo de datos permite depurar y analizar la información antes de su procesamiento, asegurando precisión en los datos de posición y condiciones ambientales. Un decodificador AX.25 traduce el protocolo de comunicación para APRS, que es compatible con redes de radioaficionados y redes APRS. Además, el ESP32 incorpora un gestor de interrupciones para manejar eventos críticos, como la pérdida de señal o la interrupción de la energía, asegurando una operación fluida y confiable en entornos difíciles. Este bloque es el encargado de procesar y gestionar la información antes de enviarla para transmisión.

2) **LILYGO LoRa32:** El LILYGO LoRa32 es el módulo de comunicación principal, que permite la transmisión de los datos recolectados mediante la tecnología LoRa. Este bloque incluye un sistema de modulación y codificación para preparar los datos y hacerlos robustos frente a interferencias. La sincronización de paquetes asegura que la información llegue de manera ordenada y coherente, reduciendo la posibilidad de errores durante la transmisión. Finalmente, el módulo de transmisión envía los datos a través de la antena, abarcando largas distancias con un bajo consumo de energía, una característica ideal para entornos remotos y con infraestructura limitada.

iGate

El iGate actúa como un punto de recepción de datos en la red de monitoreo. Recibe los datos transmitidos por el *tracker* a través de LoRa, y los procesa mediante varios pasos. Primero, realiza una *decodificación* para traducir la señal y prepararla para su análisis. Luego, una etapa de *validación de datos* verifica la integridad y la precisión de la información recibida. Después, el sistema ejecuta un *filtro y selección* para eliminar datos redundantes o incorrectos. Finalmente, el iGate se encarga de la *retransmisión de datos* hacia el servidor, permitiendo la centralización de la información en una plataforma que pueda ser consultada y analizada en tiempo real.

Aplicativo

La aplicación es la interfaz de usuario y el sistema de almacenamiento donde se visualizan y analizan los datos. Esta sección incluye un módulo de *almacenamiento*, que guarda la información para su consulta posterior. También cuenta con un sistema de *actualización en tiempo real*, el cual permite visualizar el estado y la ubicación de los animales monitoreados a medida que se transmiten los datos. La *visualización de datos* permite interpretar la información a través de gráficos y mapas, facilitando el análisis y la toma de decisiones. El *mapeo* es particularmente útil para estudiar patrones migratorios y de comportamiento, proporcionando una representación visual de las rutas de los animales.

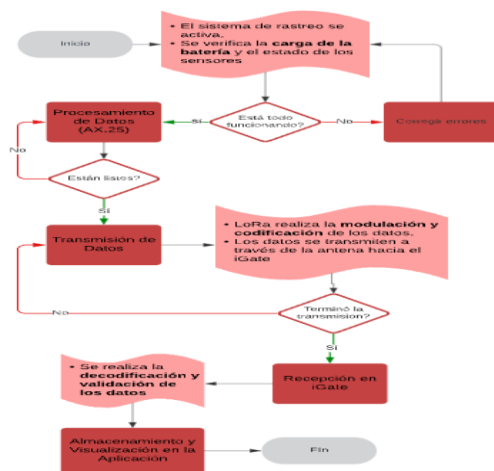


Fig. 4. Diagrama de flujo del funcionamiento de la implementación

El diagrama de flujo describe el funcionamiento del sistema de monitoreo de migración y comportamiento de animales en peligro de extinción utilizando APRS y LoRa.

El proceso comienza con la activación del sistema de rastreo, en el que se realiza una verificación inicial de la carga de la batería y el estado de los sensores (como GPS, temperatura y velocidad). Este paso es crucial, ya que asegura que el *tracker* tenga suficiente energía para operar y que todos los sensores estén funcionando correctamente.

Una vez que se verifica el estado inicial, el sistema comprueba si todo está funcionando adecuadamente. Si se detecta algún problema, el sistema activa un proceso de corrección de errores. Esta etapa asegura que los datos que se van a transmitir sean precisos y que el equipo esté en condiciones óptimas para registrar y enviar información. Si no se detectan problemas, el sistema procede al siguiente paso.

En esta etapa, los datos recolectados de los sensores, como la ubicación (GPS) y otros parámetros ambientales, pasan por un proceso de *procesamiento de datos* utilizando el protocolo AX.25. Este protocolo es común en aplicaciones APRS y prepara los datos para su transmisión al formatearlos adecuadamente. Solo una vez que los datos están listos, el proceso continúa hacia la fase de transmisión.

Cuando los datos han sido procesados, el sistema inicia la transmisión utilizando LoRa. Aquí, LoRa realiza la modulación y codificación de los datos, y luego los envía a través de una antena hacia un iGate cercano. La tecnología LoRa permite que estos datos se transmitan a largas distancias con bajo consumo de energía, lo cual es ideal para un sistema de monitoreo que opera en zonas remotas. El sistema revisa constantemente si la transmisión ha finalizado correctamente; si no, intentará reenviar los datos hasta asegurar la transmisión completa.

Una vez que los datos son recibidos por el iGate, se realiza la decodificación y validación de la información para asegurar que los datos estén completos y no hayan sufrido errores durante la transmisión. Este paso es fundamental, ya que los datos pueden experimentar pérdidas o interferencias, especialmente en entornos de campo.

Finalmente, los datos decodificados son almacenados y enviados a una aplicación central donde se visualizan en tiempo real. Esta aplicación permite el monitoreo continuo de la ubicación y el comportamiento de los animales, generando alertas y mapas que facilitan la interpretación de patrones migratorios y de conducta. La visualización en tiempo real y el almacenamiento permiten a los investigadores realizar un análisis detallado y tomar decisiones informadas para la conservación de las especies monitoreadas.

V. IMPLEMENTACIÓN FÍSICA

Para la demostración de la implementación del enlace, se procede a utilizar un módulo iGate para demostrar su funcionamiento de conexión, haciendo uso de la herramienta Platform IO en Visual SC. En este caso se opera en las bandas de 433 – 470 MHz.



Fig. 5. Módulo iGate LILIGO LORA 32.

Para la configuración del módulo, se procede a utilizar la extensión de **Platform IO** de **Visual SC**, acá se procede a modificar unos parámetros del código obtenido del repositorio de Richon Guzman.

Para configurar la placa que funcionará como iGate, se debe abrir **Visual SC** y ajustar algunos parámetros clave. Primero, se selecciona **File - Open Folder** y se abre la carpeta descargada desde el repositorio de GitHub de Richon Guzmán. Esta carpeta contiene subcarpetas con las librerías necesarias para la programación de la placa. Luego, se ubica el archivo **is-cfg.json** dentro de la subcarpeta **data**. En este archivo, se debe ingresar el SSID y la contraseña de la red WiFi para permitir el acceso a internet, así como configurar el **callsign**, que es el identificador único de la estación en el sistema de radiocomunicación.

Además de los parámetros de red e identificación, es necesario configurar las coordenadas que indican la ubicación de la placa o estación fija. También se ajustó el parámetro **comment**, el cual permite añadir un comentario que aparecerá en los sitios de APRS, proporcionando información adicional sobre la estación.

```
{
  "callsign": "TITEC-10",
  "wifi": {
    "autoAP": {
      "password": "50A5DC024C26",
      "timeout": 10
    },
    "AP": [
      {
        "ssid": "LIB 4C26",
        "password": "50A5DC024C26"
      }
    ]
  },
  "beacon": {
    "latitude": 9.910845,
    "longitude": -84.027754,
    "comment": "LoRa APRS Gr 6",
    "interval": 15,
    "overlay": "L",
    "symbol": "a",
    "path": "WIDE1-1",
    "sendViaAPRSIS": false,
    "sendViaRF": false
  }
}
```

Fig. 6. Configuración del iGate desde Visual SC.

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.



Fig. 7. Conexión del módulo iGate a la red y APRS.

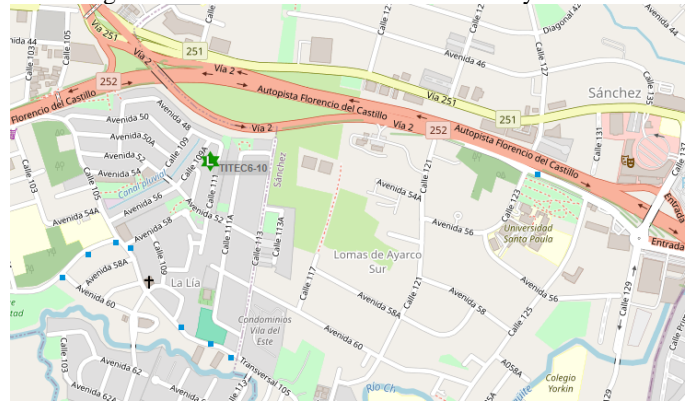


Fig. 8. Ubicación del módulo iGate en el mapa.

VI. COSTOS Y PRESUPUESTO DE HORAS

El costo total estimado para el equipo destinado al monitoreo de fauna silvestre es de \$235, teniendo en cuenta todos los elementos necesarios que se detallan en la lista de materiales (BOM). Cada componente seleccionado está diseñado para maximizar la eficiencia del sistema. Entre los elementos más importantes se encuentra un módulo GPS NEO-6M, fundamental para la localización y seguimiento de los animales, con un precio de \$15. La antena de alta ganancia de 5 dBi y 868 MHz, que proporciona una mejor recepción de señal, tiene un costo de \$50. También se ha incluido una batería recargable de larga duración (3.7V, 5000 mAh) para cada collar, cuyo valor es de \$30, garantizando así un suministro energético adecuado para el seguimiento prolongado en el campo.

Otros componentes necesarios son los cables y conectores SMA, que tienen un valor de \$50 y son esenciales para la conectividad del sistema. Adicionalmente, se ha considerado opcionalmente una caja protectora resistente al agua (IP67) para proteger los dispositivos en ambientes húmedos o expuestos, con un costo de \$20. El sistema también incorpora una estación de rastreo LoRa APRS y un repetidor de señal LoRa APRS, con precios de \$50 y \$20 respectivamente, lo que permite una mayor cobertura en la transmisión de datos en zonas remotas.

El presupuesto de horas está estructurado para abarcar todas las etapas del proyecto de monitoreo de fauna silvestre, desde la adquisición de los componentes hasta la recolección de datos. Se estima que la compra de los componentes tomará entre 2 semanas y 1 mes, considerando posibles variaciones en los plazos de entrega. La integración del GPS con el módulo LoRa se proyecta en 1 semana, seguida por pruebas de comunicación entre los collares y el receptor, que requerirán aproximadamente 2 semanas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. La instalación de los collares en el campo se llevará a cabo en un plazo de 1 semana. Posteriormente, se prevé un período de 3 semanas para el monitoreo y ajustes en campo, con el fin de garantizar el óptimo rendimiento del sistema. Finalmente, las pruebas conclusivas y la recolección de datos tendrán una duración estimada de 2 semanas, lo que permitirá validar la operatividad y confiabilidad del sistema implementado. Espero que esta versión sea útil para ti.

VII. CONCLUSIONES

- La integración de APRS y LoRa es altamente beneficiosa para proyectos de seguimiento de especies en riesgo, ya que permite monitorear su ubicación y comportamiento en tiempo real. La capacidad de transmitir datos a largas distancias con bajo consumo energético es esencial en áreas remotas y con infraestructura de comunicación limitada.
- La combinación de APRS y LoRa permite enviar información de manera eficiente y con una cobertura ampliada. Esto es crucial en aplicaciones que necesitan una supervisión constante y confiable, especialmente en el ámbito de conservación ambiental.
- Al utilizar tecnología de bajo costo y sin la necesidad de licencias en bandas ISM, APRS con LoRa facilita la escalabilidad del sistema, permitiendo conectar múltiples dispositivos en una red que puede ser ampliada de acuerdo con las necesidades de monitoreo, sin incurrir en altos costos de infraestructura.

REFERENCES

- [1] OE5BPA LoRa APRS. (2023, 24 DE JUNIO). CHEZ TK5EP. https://www.egloff.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=280:loraaprs&catid=8&itemid=121&lang=en
- [2] S. FAHMIDA, V. P. MODEKURTHY, D. ISMAIL, A. JAIN AND A. SAIFULLAH, "REAL-TIME COMMUNICATION OVER LoRa NETWORKS," 2022 IEEE/ACM SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERNET-OF-THINGS DESIGN AND IMPLEMENTATION (IoTDI), MILANO, ITALY, 2022, PP. 14-27, DOI: 10.1109/IoTDI54339.2022.00019. KEYWORDS: {WIRELESS COMMUNICATION; PERFORMANCE EVALUATION; AUTOMATION; PROTOCOLS; JOB SCHEDULING; THROUGHPUT; DOWNLINK; LoRa; LOW POWER WIDE AREA NETWORKS; REAL-TIME; INDUSTRIAL INTERNET-OF-THINGS; CLOSED LOOP; INTERNET-OF-THINGS; CYBER PHYSICAL SYSTEMS},