

Sistema de Bajo Costo para el Posicionamiento y Monitoreo de Embarcaciones Pesqueras Locales vía LoRa APRS con Módulo T-Beam hacia un iGate

Joham Gabriel Mora Castrillo

Tecnológico de Costa Rica

Estudiante, Ingeniería Electrónica

johammoracastrillo@estudiantec.cr

Natalia Hernández López

Tecnológico de Costa Rica

Estudiante, Ingeniería Electrónica

natihl1600@estudiantec.cr

Josué Marín Vargas

Tecnológico de Costa Rica

Estudiante, Ingeniería Electrónica

josue.mv@estudiantec.cr

Abstract—

Index Terms—

I Introducción

II Aplicación del proyecto

El presente proyecto está enfocado en apoyar a los pesqueros locales, quienes comúnmente operan embarcaciones pequeñas que, por limitaciones económicas y de espacio, no pueden incorporar equipos sofisticados de radiofrecuencia o sistemas de comunicación satelital. Se propone la implementación de un sistema de comunicación basado en APRS (Automatic Packet Reporting System) en zonas costeras, específicamente adaptado para ser instalado en este tipo de embarcaciones. El sistema permite la transmisión en tiempo real de coordenadas GPS y mensajes breves sin depender de redes móviles o conexión a internet, lo cual lo hace especialmente útil en zonas alejadas o de cobertura limitada. Esta solución tecnológica de bajo costo busca brindar a los pescadores una herramienta accesible para el monitoreo y la seguridad en sus operaciones diarias.

Como se observa en la figura 1, en la actualidad no existen embarcaciones en Costa Rica que utilicen el sistema APRS. Esta es una necesidad que podría ser atendida mediante la implementación de una solución de bajo costo, beneficiando directamente a los pescadores locales.

El sistema proporcionaría seguridad adicional en caso de emergencia, ya que permitiría conocer las coordenadas exactas de las embarcaciones, lo que facilitaría una respuesta rápida y eficiente ante cualquier incidente. Además de brindar protección y monitoreo a zonas restringidas de estas prácticas.

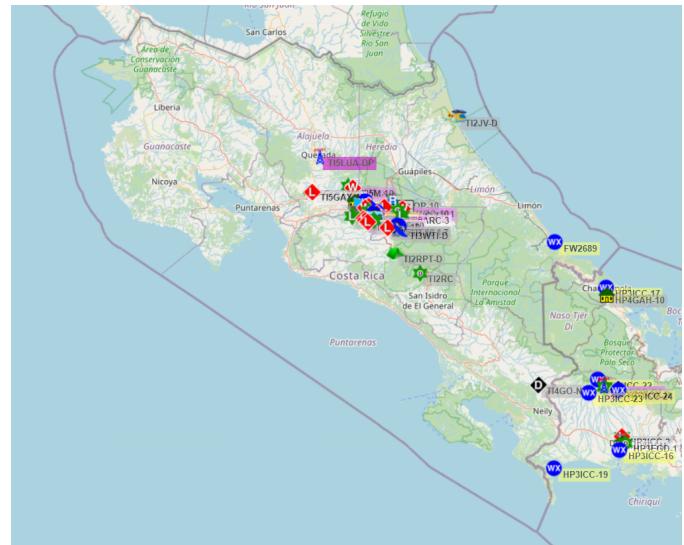


Figure 1: Mapa de Costa Rica - Vista desde el sistema de monitoreo APRS

III Objetivo general

Diseñar un sistema de comunicación de bajo costo, bajo consumo energético y alta confiabilidad, basado en tecnología APRS, que permita mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y la trazabilidad de las actividades pesqueras realizadas por embarcaciones pequeñas en comunidades costeras, con un enfoque en la adaptabilidad al entorno marítimo y a las restricciones técnicas y económicas de los usuarios.

IV Impacto, alcances y beneficios

- Seguimiento en tiempo real de las embarcaciones pesqueras, incluso en zonas sin cobertura móvil.
- Generación de alertas si una embarcación ingresa a zonas restringidas o no autorizadas para la pesca.
- Registro y análisis de trayectorias que permitan optimizar las rutas y mejorar la planificación de las faenas pesqueras.
- Comunicación básica en alta mar mediante mensajes breves, útil en emergencias o para reportes operativos.

- Fomento de la seguridad marítima y la modernización tecnológica en comunidades pesqueras con recursos limitados.

V Marco Teórico

V-A APRS

El Automatic Packet Reporting System (APRS) es un sistema de comunicaciones basado en radiofrecuencia que permite la transmisión de datos en tiempo real. Se utiliza principalmente en la comunidad de radioaficionados para compartir información como ubicación, mensajes cortos, telemetría y datos meteorológicos.

V-B ¿Para qué sirve? (Aplicaciones)

APRS tiene diversas aplicaciones, entre ellas:

- Rastreo de vehículos y personas en tiempo real.
- Monitoreo y reporte de condiciones meteorológicas.
- Envío de mensajes cortos sin necesidad de Internet.
- Coordinación en situaciones de emergencia y rescate.
- Integración con redes digitales mediante APRS-IS.

V-C ¿Qué protocolos de comunicación utiliza?

APRS (Automatic Packet Reporting System) utiliza principalmente el protocolo AX.25, que es un estándar de comunicaciones para la transmisión de datos en paquetes en la radioafición. AX.25 es un protocolo de enlace de datos basado en la commutación de paquetes, utilizado para la transmisión de información a través de redes de radio. Este protocolo fue diseñado para permitir que las estaciones de radioaficionados intercambien datos de manera eficiente y confiable, incluso en condiciones de baja calidad de señal. AX.25 define cómo los datos deben ser encapsulados, dirigidos y transmitidos en las redes de radio.

Además, APRS puede utilizar TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), un conjunto de protocolos de comunicación utilizados para la interconexión de dispositivos a través de redes, como Internet. TCP/IP permite la transmisión de datos de manera confiable y garantiza que los paquetes de información lleguen a su destino, facilitando la integración de APRS con sistemas basados en Internet.

V-D ¿En cuáles bandas de frecuencia opera?

Las bandas de frecuencia para APRS varían según la región:

- 144.390 MHz en VHF (frecuencia estándar en Norteamérica).
- 145.825 MHz para comunicación satelital.
- Otras frecuencias en HF y UHF dependiendo de las regulaciones locales.

V-E Componentes clave (dispositivos que componen una red APRS)

Los elementos principales de una red APRS incluyen:

- Transceptor de radio VHF/UHF/HF.
- TNC (Terminal Node Controller) o software para modulación y demodulación de paquetes.
- GPS para proporcionar datos de ubicación.

Frecuencia	Siglas	Rango de Frecuencia
VLF	Very Low Frequency (Frecuencia Muy Baja)	3 Hz - 30 Hz
LF	Low Frequency (Frecuencia Baja)	30 Hz - 300 Hz
MF	Medium Frequency (Frecuencia Media)	300 Hz - 3 kHz
HF	High Frequency (Frecuencia Alta)	3 kHz - 30 MHz
VHF	Very High Frequency (Frecuencia Muy Alta)	30 MHz - 300 MHz
UHF	Ultra High Frequency (Frecuencia Ultra Alta)	300 MHz - 3 GHz
SHF	Super High Frequency (Frecuencia Super Alta)	3 GHz - 30 GHz
EHF	Extremely High Frequency (Frecuencia Extremadamente Alta)	30 GHz - 300 GHz
THF	Tremendously High Frequency (Frecuencia Tremendamente Alta)	300 GHz - 3 THz

Table I: Bandas de frecuencia y sus siglas

- Computadora o microcontrolador para procesar y enviar datos.
- Servidores APRS-IS para la integración con redes digitales.

V-F LoRa

LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicación inalámbrica de bajo consumo energético que utiliza modulación de espectro ensanchado para permitir la transmisión de datos a largas distancias con mínima interferencia.

V-G Frecuencias que utiliza

Las frecuencias asignadas para LoRa dependen de la región:

- 433 MHz (Europa, China).
- 868 MHz (Europa).
- 915 MHz (América del Norte y Australia).

V-H Aplicaciones

LoRa se utiliza en diversas aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), como:

- Monitoreo y control de cultivos en agricultura inteligente.
- Medidores inteligentes para agua, gas y electricidad.
- Rastreo de activos y logística.
- Redes de sensores ambientales.
- Seguridad y monitoreo industrial.

V-I Disponibilidad de módulos basados en ESP32 con chips LoRa en el mercado

Existen múltiples módulos ESP32 con LoRa integrados, tales como:

- Heltec WiFi LoRa 32.
- TTGO LoRa32.
- RA-02 LoRa module con ESP32.

Estos módulos permiten la comunicación LoRa junto con capacidades de procesamiento y conectividad WiFi/Bluetooth mediante el ESP32.

V-J Diferencias entre LoRa y APRS

A continuación se presentan las diferencias entre LoRa y APRS, dos tecnologías utilizadas en comunicaciones de largo alcance.

*ISM significa Industrial, Scientific, and Medical (Industrial, Científica y Médica). Es un conjunto de bandas de frecuencia que están reservadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas, pero que también se pueden utilizar para otras aplicaciones, como las comunicaciones de corto alcance.

Característica	LoRa
Tecnología de transmisión	Modulación LoRa (Long Range)
Frecuencia de operación	Generalmente en bandas ISM (Sub 1 GHz)*
Alcance	Hasta 15-20 km en áreas rurales y hasta 5 km en entornos urbanos
Velocidad de transmisión	Baja (hasta 27 kbps)
Uso principal	Internet de las Cosas (IoT), sensores remotos, redes privadas
Requiere licencia	No requiere licencia en bandas ISM
Conexión a Internet	Puede conectarse a Internet a través de gateways LoRaWAN
Costo de implementación	Bajo, por la simplicidad de la tecnología
Redes públicas/privadas	LoRaWAN permite redes privadas y públicas

Table II: Características de LoRa

Característica	APRS
Tecnología de transmisión	Modulación de paquetes AX.25
Frecuencia de operación	Principalmente en VHF (144.390 MHz)
Alcance	Generalmente limitado a unos pocos cientos de km
Velocidad de transmisión	Baja (hasta 1.2 kbps)
Uso principal	Seguimiento de estaciones, informes de datos, radioaficionados
Requiere licencia	Requiere licencia de radioaficionado
Conexión a Internet	Puede conectarse a Internet, generalmente a través de gateways APRS
Costo de implementación	Bajo, debido a la infraestructura de radioaficionados
Redes públicas/privadas	Generalmente es una red pública para radioaficionados

Table III: Características de APRS

V-K Legislación Costarricense - Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias del PNAF

El Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), regulado por el Decreto N° 44010-MICITT y publicado en el Alcance N°99 de la Gaceta N°95 del 30 de mayo de 2023, define las bandas de frecuencia asignadas para distintos servicios de telecomunicaciones, incluyendo LoRa y APRS.

V-L Permisos requeridos para operar un sistema LoRa/APRS

En Costa Rica, la operación de sistemas de radiofrecuencia requiere cumplir con las normativas del MICITT. Para sistemas APRS, los operadores deben contar con una licencia de radioaficionado válida. En cuanto a LoRa, su uso depende de la banda de frecuencia y si está clasificada como de uso libre o requiere autorización específica.

V-M Clases de Emisión

Las clases de emisión describen el tipo de modulación y el contenido de la señal transmitida. Para APRS y LoRa, se utilizan las siguientes clases:

- APRS: F2D (datos en modulación de frecuencia).
- LoRa: G1D (datos en modulación de espectro ensanchado).

V-N Bandas de Frecuencias en las que operan LoRa/APRS

Las bandas de frecuencia permitidas en Costa Rica para estos sistemas son:

- APRS: 144-148 MHz (144.390 MHz para VHF, 145.825 MHz para satélite).
- LoRa: 915-921 MHz para aplicaciones IoT de baja potencia.

V-O PIRE permitida para cada banda

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) máxima permitida según el PNAF es:

- APRS en VHF: hasta 50 watts.
- LoRa en 915-921 MHz: hasta 1 watt.

Es importante verificar siempre la regulación vigente y ajustar la potencia de transmisión conforme a las normativas del MICITT.

V-P Antecedentes de la problemática en Costa Rica.

VI Metodología

VI-A Propuesta de funcionamiento

Se propone la instalación de una serie de dispositivos iGate a lo largo de las costas del país, con el objetivo de ofrecer una cobertura amplia que permita a cualquier dispositivo Tracker en el mar comunicarse y reportarse de manera efectiva. La zona de cobertura propuesta se muestra en el área en amarillo de la figura 2.

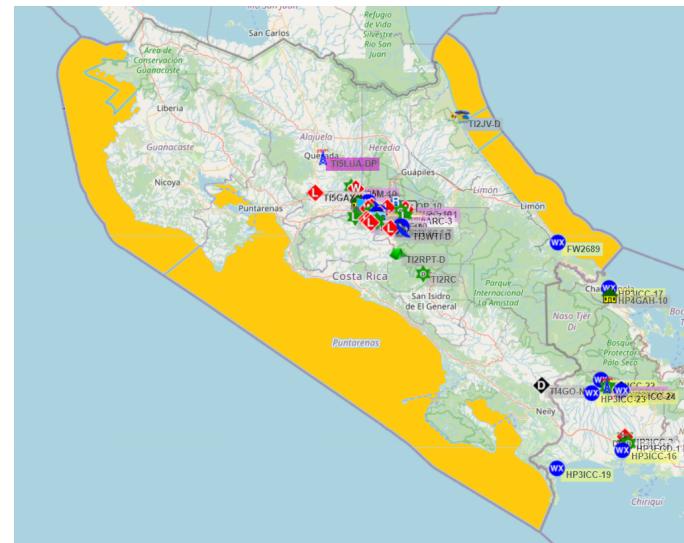


Figure 2: Mapa de Costa Rica - zona de cobertura propuesta

Un bosquejo de la situación que se plantea se observa en la figura 3.



Figure 3: Escenario posible del sistema implementado.

VI-B Diagrama de bloques del sistema

1) Diagrama primer nivel

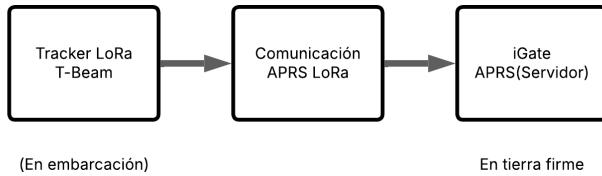


Figure 4: Diagrama primer nivel

- Objetivo:** Establecer una comunicación desde las embarcaciones al centro de control asignado para el envío de mensajes de control y monitoreo de las zonas protegidas.
- Entradas y Salidas:** Cada embarcación tendrá un Tracker correspondiente para transmitir su ubicación en tiempo real, además de permitir el envío de mensajes al centro de control así se desee. El receptor del canal será el centro de control, transmitiendo las señales entrantes en APRS.fi
- A grandes rasgos, lo que los ingenieros buscan es una comunicación directa y fluida entre las embarcaciones de pesca local y el centro de control, cabe aclarar...

2) Diagrama segundo nivel



Figure 5: Diagrama segundo nivel

3) Diagrama de tercer nivel

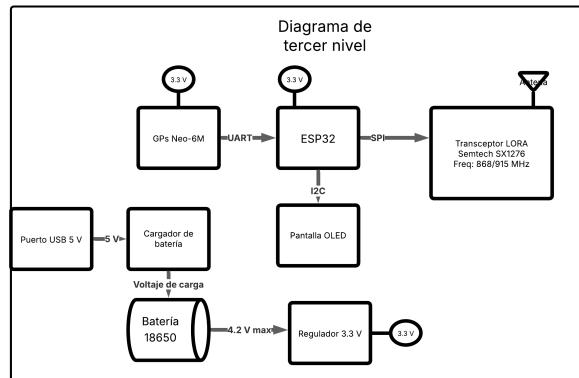


Figure 6: Diagrama de tercer nivel

• Bloque Tracker

- El módulo del tracker se encarga de recibir información GPS, modular la información y enviarla al canal para que llegue al receptor iGate
- Las entradas al bloque Tracker corresponden a las señales de satélites GPS (latitud, longitud y hora), además de la energía de la batería. Las salidas se representan como paquetes APRS codificados con coordenadas GPS, ID de la embarcación y los mensajes (si llegaran a enviarse).
- De manera general el módulo T-Beam (ESP-32 + LoRa RA-02) es el modulador que encapsula los datos y los transmite vía LoRa a la frecuencia asignada, 144.39. GPS NEO-6M proporciona ubicación con precisión. La alimentación con batería de litio siendo una batería recargable o agregarle un panel solar para autonomía.

• Bloque Comunicación LoRa

- Este bloque es el encargado de conducir los datos del transmisor al receptor.
- Las entradas son los empaquetados APRS del tracker y la salida son los mismo empaquetados recibidos por el iGate. Procurando la no pérdida de datos.
- El funcionamiento del bloque es por medio del protocolo AX.25 para garantizar la integridad de los datos. La frecuencia de operación es la designada desde un inicio, de 144.39 MHz para APRS y 915 MHz para LoRa ISM.

• Bloque iGate (Estación en tierra)

- Bloque encargado de recibir los datos transmitidos por el Tracker y cargarlos a la web.
- La entrada del sistema son los datos empaquetados previamente ubicados en el canal. Su función es demodular el empaquetados para así, correspondiente a su salida, enviar los datos al servidor APRS-IS.
- De manera general su funcionalidad es receptar por medio de LoRa + TNC, para decodificar los paquetes AX.25. Una vez decodificados los datos se alma-

cenan y cargan a la web APRS-IS para poder ser accedidos por los usuarios

El objetivo general es desarrollar un sistema de bajo costo para el monitoreo en tiempo real. El tracker transmite coordenadas GPS codificadas sin dependencia a redes móviles. El canal con protocolo AX.25 permite la transmisión de datos y finalmente el iGate decodifica los datos transmitidos por el Tracker y los codifica para ser transmitidos en la interfaz web.

4) *Diagrama tercer nivel*

VI-C Configuración de los dispositivos

VII Análisis de resultados

VIII Conclusiones

References

- [1] Radioaficionados.mx, “Aprs (automatic packet reporting system),” 2025. [Online]. Available: <https://radioaficionados.mx/aprs-automatic-packet-reporting-system/>.
- [2] R. C. Capitol, “Guía aprs,” 2025. [Online]. Available: <https://www.radioclubcapitol.es/formacion/aprs/guia-aprs>.
- [3] Innovadidactic, *Lora y lorawan con arduinoblocks y esp32*, 2025. [Online]. Available: https://docs.innovadidactic.com/_media/es/lora_y_lorawan_con_arduino_blocks_y_esp32_steamakers.pdf.
- [4] T. y. T. d. C. R. Ministerio de Ciencia, *Decreto n° 44010-micitt*, 2023. [Online]. Available: <https://www.micitt.go.cr>.