

- #### IV Impacto, alcances y beneficios

- 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 conmutación 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.

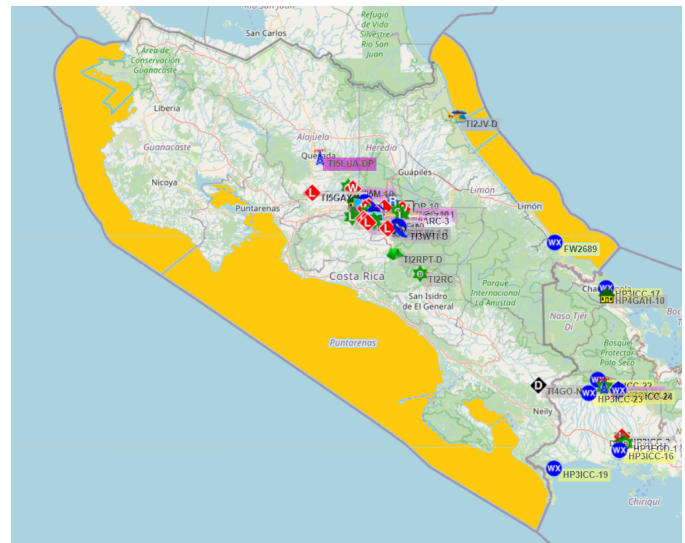


Figure 2: Mapa de Costa Rica - zona de cobertura propuesta

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

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_arduinoblocks_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>.