



- 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 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.

Frecuencia	Siglas	Rango de Frecuencia
VLF	Very Low Frequency (Frecuencia Muy Baja)	3 Hz - 30 Hz
LF	Low Frequency (Frecuencia Baja)	30 Hz - 300 kHz
MF	Medium Frequency (Frecuencia Media)	300 kHz - 3 MHz
HF	High Frequency (Frecuencia Alta)	3 MHz - 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.

### 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.
- 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.

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-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.

## 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.

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

## 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.

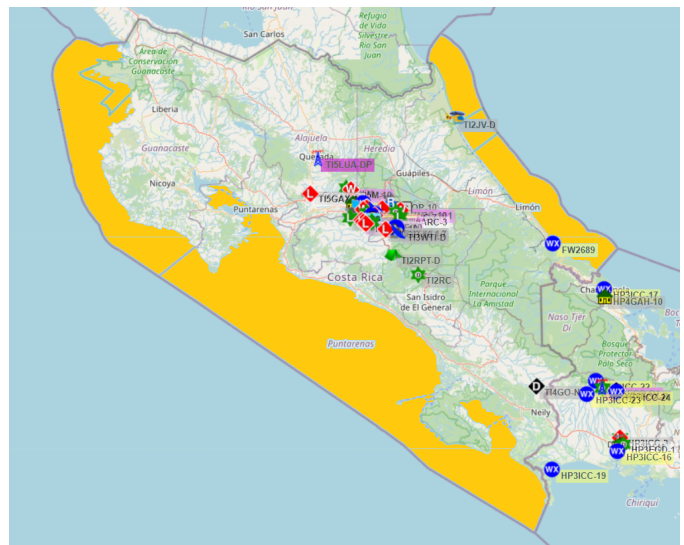


Figure 2: Mapa de Costa Rica - zona de cobertura propuesta.

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



Figure 3: Escenario posible del sistema implementado.

El objetivo es entablar una comunicación desde las embarcaciones de los pescadores al centro de control (un dispositivo iGate) más cercano, para el envío de los datos de posición, además el dispositivo contará con un botón de emergencia, el cual al ser presionado, envía una señal de auxilio, para que las autoridades locales de guarda costas puedan acudir al rescate.

Cada embarcación tendrá un Tracker correspondiente para transmitir su ubicación en tiempo real, el receptor (un dispositivo iGate), será el centro de control, transmitiendo las señales entrantes al servidor de la página web de APRS.fi.

## VI-B Cantidad de dispositivos a utilizar

Para estimar los dispositivos necesarios para alcanzar la cobertura propuesta, es imprescindible realizar cálculos no solo del área aproximada a cubrir, sino también del perímetro de las costas de Costa Rica. Estos cálculos deben considerar el alcance de cobertura de un iGate, así como el alcance de la señal de un Tracker.

Con esta información, se podrá determinar la cantidad de iGates requeridos y las ubicaciones óptimas para su instalación, sabiendo que cualquier dispositivo Tracker dentro del rango será detectado. A continuación, se detallan los cálculos realizados.

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

## VI-C Diagrama de bloques del sistema

### 1) Diagrama de primer nivel

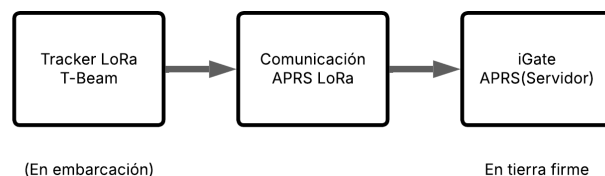


Figure 4: Diagrama primer nivel.

### 2) Diagrama de segundo nivel

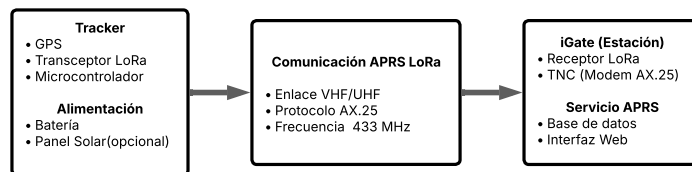


Figure 5: Diagrama de segundo nivel.

### 3) Diagrama de tercer nivel

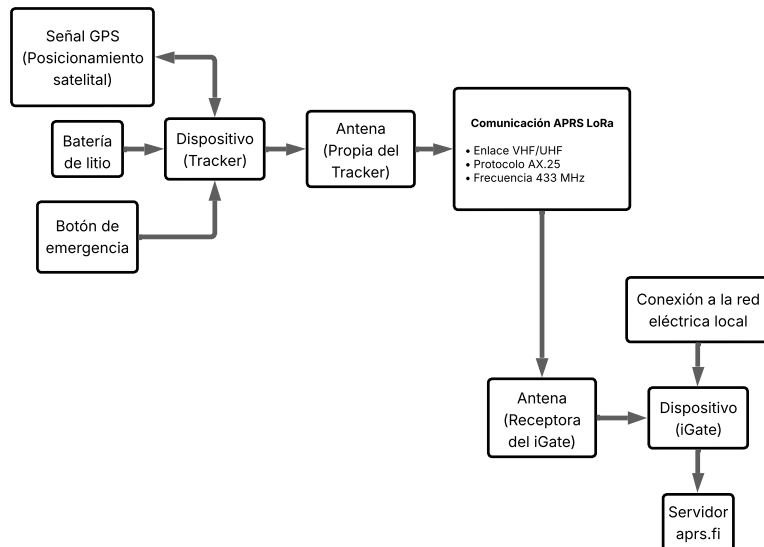


Figure 6: Diagrama de tercer nivel.

### 4) Diagrama de tercer nivel

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

### 5) Diagrama de cuarto nivel

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

### 6) Diagrama de quinto nivel

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

## VI-D Configuración de los dispositivos

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

## VII Análisis de resultados

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

## VIII Conclusiones

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

### 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](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>.

### Appendix A

#### Costos estimados del proyecto

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

Concepto	(C) Costo unitario	Unidades	(C) Costo total
Horas Ingeniero	22,000 (revisar)	por definir	por definir
Módulo Tracker t-beam-axp21p1-v1.2	25,000 (aproximado)	por definir	por definir

Table IV: Costos estimados del proyecto.

### Appendix B

#### Registro de horas de trabajo

[BORRADOR, FALTA AGREGAR!]

Fecha	Nombre	Descripción	Horas dedicadas

Table V: Resumen de actividades del proyecto y horas dedicadas.