Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Ingeniería

Semestre: febrero-junio (2025A)

Protocolos de comunicación de datos

Profesor: José Antonio Álvarez Lobato

Grupo: O2

Fernando Bryan Reza Campos

Karen Navarro Hurtado

Antonio Brayan Peña Bernabé

“LoRa Tracker”

Tabla de Contenidos

[Introducción 4](#_Toc192956670)

[Fundamentos Teóricos 4](#_Toc192956671)

[Comunicación de datos 4](#_Toc192956672)

[Señales analógicas vs digitales 4](#_Toc192956673)

[Análisis de Fourier y espectro 4](#_Toc192956674)

[Ancho de banda y capacidad del canal 4](#_Toc192956675)

[Espectro electromagnético 5](#_Toc192956676)

[Organización del espectro 5](#_Toc192956677)

[Características de la banda de 433MHz 5](#_Toc192956678)

[Bandas ISM de uso libre 5](#_Toc192956679)

[Protocolo LoRa 5](#_Toc192956680)

[Modulación CSS 5](#_Toc192956681)

[Factor de dispersión (SF) 5](#_Toc192956682)

[Ancho de banda configurable 5](#_Toc192956683)

[LoRaWAN 6](#_Toc192956684)

[Desarrollo 7](#_Toc192956685)

[Objetivo 7](#_Toc192956686)

[Diseño del sistema 7](#_Toc192956687)

[Selección de hardware 7](#_Toc192956688)

[Tracker Móvil 7](#_Toc192956689)

[Estación base receptora 8](#_Toc192956690)

[Diseño de antena 8](#_Toc192956691)

[Consideraciones 8](#_Toc192956692)

[Especificaciones 9](#_Toc192956693)

[Implementación 9](#_Toc192956694)

[Desarrollo de software 9](#_Toc192956695)

[No c que otra sección vaya por aquí :c 9](#_Toc192956696)

[Pruebas y resultados 10](#_Toc192956697)

[Metodología de pruebas 10](#_Toc192956698)

[Evaluación de alcance 10](#_Toc192956699)

[Rendimiento del sistema 10](#_Toc192956700)

[Conclusiones 11](#_Toc192956701)

[Referencias y/o citas 12](#_Toc192956702)

[Anexos 13](#_Toc192956703)

[Código Fuente 13](#_Toc192956704)

[Archivos de Diseño 13](#_Toc192956705)

[Enlace de Repositorio 13](#_Toc192956706)

[Registro de Pruebas y Mediciones 13](#_Toc192956707)

[Fotografías del Prototipo 13](#_Toc192956708)

# Introducción

El proyecto **LoRa GPS Tracker** tiene como objetivo desarrollar un sistema de seguimiento de ubicación que combine la precisión del GPS con la capacidad de comunicación a larga distancia ofrecida por la tecnología LoRa. Diseñado para transmitir datos de ubicación hasta 5 km en campo abierto sin depender de redes celulares, el dispositivo se orienta a aplicaciones en zonas remotas o en escenarios donde la cobertura convencional es limitada.

Este sistema se compone de dos elementos principales:

* **Dispositivo tracker:** integrado con un módulo GPS de bajo consumo, un módulo LoRa y una antena optimizada para la banda ISM de 433 MHz.
* **Estación base receptora:** encargada de recibir y procesar los datos, permitiendo su visualización en tiempo real a través de una interfaz gráfica.

La propuesta forma parte de la asignatura de *Protocolos de comunicación de datos* en la Universidad Autónoma del Estado de México, donde se abordan tanto aspectos teóricos como prácticos en el diseño y la integración de tecnologías inalámbricas de bajo consumo.

# Fundamentos Teóricos

## Comunicación de datos

### Señales analógicas vs digitales

#### Señales analógicas

Son continuas y representan datos como ondas que varían constantemente. La propagación radioeléctrica natural ocurre de forma analógica.

#### Señales digitales

Son discretas y representan datos como pulsos distintos (principalmente 0s y 1s). Nuestro sistema LoRa utiliza técnicas digitales sobre un medio analógico.

### Análisis de Fourier y espectro

Este principio establece que cualquier señal puede descomponerse en sumas de ondas senoidales de diferentes frecuencias. Su aplicación práctica en nuestro proyecto permite entender cómo se comportará nuestra señal LoRa en el espectro de 433MHz y qué ancho de banda ocupará, lo que determinará la separación necesaria entre canales y ayudará a evitar interferencias.

### Ancho de banda y capacidad del canal

El ancho de banda, que es el rango de frecuencias que ocupa una señal (medido en Hz), es vital para nuestro sistema. Según la fórmula de Shannon: C = W × log₂(1 + S/N), donde C es capacidad en bits por segundo, W es ancho de banda, y S/N es relación señal-ruido. Para nuestro proyecto, un mayor ancho de banda permite transmitir más datos, pero consume más energía; LoRa optimiza esta relación de manera eficiente.

## Espectro electromagnético

El espectro electromagnético y su organización son conceptos fundamentales para comprender el funcionamiento de nuestro sistema LoRa Tracker:

### Organización del espectro

El espectro se divide en bandas principales: ELF, VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF. Nuestro proyecto utiliza la banda de 433MHz, que pertenece a la categoría UHF (300-3000 MHz).

### Características de la banda de 433MHz

Esta banda UHF ofrece buena penetración en edificios, tiene una longitud de onda aproximada de 69 cm, y forma parte de las bandas ISM de uso libre en muchas regiones, lo que la hace ideal para nuestro proyecto.

### Bandas ISM de uso libre

Las bandas Industrial, Scientific and Medical están disponibles sin necesidad de licencia. Las principales son 433 MHz (Europa), 915 MHz (América) y 2.4 GHz (mundial). Para nuestro proyecto, la banda 433 MHz ofrece un excelente equilibrio entre alcance y tamaño de antena, aunque debemos considerar las regulaciones sobre potencia máxima permitida y ciclo de trabajo.

## Protocolo LoRa

LoRa (Long Range) es una tecnología de modulación de espectro expandido desarrollada para comunicaciones inalámbricas de largo alcance y bajo consumo:

### Modulación CSS

LoRa utiliza Chirp Spread Spectrum (CSS), una técnica especial que "dispersa" la señal para hacerla más resistente a interferencias y permitir mayor alcance con bajo consumo energético.

### Factor de dispersión (SF)

Este parámetro determina la relación entre velocidad de transmisión y alcance. Valores más altos (SF7-SF12) aumentan el alcance pero reducen la velocidad de transmisión.

### Ancho de banda configurable

LoRa permite configurar diferentes anchos de banda (125 kHz, 250 kHz, 500 kHz), lo que afecta directamente al consumo energético y a la resistencia frente a interferencias.

### LoRaWAN

Es la capa de red basada en LoRa que permite la comunicación bidireccional segura entre dispositivos. Para nuestro proyecto, nos centraremos en la comunicación punto a punto utilizando módulos LoRa, sin implementar la arquitectura completa de LoRaWAN.

# Desarrollo

## Objetivo

El desarrollo de este sistema propone implementar un sistema que permita la transmisión de coordenadas GPS a distancias de hasta 5 kilómetros, con bajo consumo energético y alta fiabilidad. Este sistema busca no solo demostrar la aplicabilidad de la tecnología LoRa en comunicaciones de largo alcance, sino también crear una plataforma extensible que pueda adaptarse a diversos escenarios de uso real.

## Diseño del sistema

El sistema LoRa Tracker se compone de dos elementos fundamentales que interactúan entre sí mediante comunicación inalámbrica bidireccional.

## Selección de hardware

Para nuestro sistema LoRa Tracker, hemos seleccionado los siguientes componentes basándonos en los requisitos de alcance y eficiencia energética:

* **Módulo LoRa SX1278 (433MHz)**: Seleccionado por su excelente balance entre consumo energético y alcance. Opera en la banda ISM de 433MHz que no requiere licencia.
* **Microcontrolador Arduino/ESP8266**: Proporcionará la capacidad de procesamiento necesaria para gestionar los datos GPS y la comunicación LoRa.
* **Módulo GPS de bajo consumo**: Necesario para adquirir la posición geográfica del dispositivo. Se consideran modelos como el NEO-6M por su precisión y bajo consumo.
* **Antena 433MHz con ganancia adecuada**: Crítica para lograr el alcance mínimo de 5 km requerido por el proyecto.
* **Componentes de alimentación**: Batería y circuitos de gestión de energía para maximizar la autonomía del dispositivo.

### Tracker Móvil

Este componente portable utiliza Arduino Nano como unidad central de procesamiento, encargándose de coordinar la adquisición y transmisión de datos GPS. Sus componentes principales son:

* Módulo SX1278 (433MHz) para comunicación LoRa de largo alcance
* Módulo GPS NEO-6M con precisión de hasta 2.5 metros
* Batería LiPo de 3.7V/2000mAh con autonomía estimada de 24 horas
* Antena monopolo de 17.25cm para propagación omnidireccional

El dispositivo opera en un ciclo continuo donde obtiene coordenadas GPS, las procesa para optimizar su formato de transmisión y las envía mediante el protocolo LoRa. Para maximizar la autonomía, implementa modos de bajo consumo entre transmisiones, activándose a intervalos configurables según la aplicación.

### Estación base receptora

La estación base se construye en torno a un Arduino Uno, ofreciendo mayor capacidad de procesamiento para la gestión de datos recibidos. Sus componentes clave incluyen:

* Módulo SX1278 para recepción de señales LoRa
* Antena Yagi de 3 elementos con ganancia de 7dBi
* Conexión serial a ordenador para visualización y almacenamiento
* Interfaz gráfica desarrollada en Processing

La estación permanece en escucha continua de transmisiones LoRa, decodificando los paquetes recibidos y extrayendo las coordenadas GPS. Estas se procesan y visualizan en tiempo real sobre un mapa, permitiendo además el registro histórico de la trayectoria del dispositivo móvil. El sistema incluye funcionalidades de alerta para notificar cuando el dispositivo sale de zonas predefinidas o cuando la señal se debilita por debajo de umbrales críticos.

## Diseño de antena

### Consideraciones

Para el diseño de la antena, debemos tener en cuenta los siguientes factores que afectarán directamente el rendimiento de nuestro sistema:

#### Propagación de la señal

Nuestro diseño debe considerar los diferentes tipos de propagación (línea de vista, reflexión, difracción y dispersión), así como los factores que afectan la propagación como atenuación, obstáculos, condiciones atmosféricas e interferencias.

#### Link Budget

Realizaremos un cálculo del balance energético entre transmisor y receptor utilizando la fórmula: Potencia Recibida = Potencia Transmitida + Ganancias - Pérdidas, considerando elementos críticos como potencia de transmisión (dBm), ganancia de antenas (dBi), pérdidas de propagación (dB) y sensibilidad del receptor (dBm).

### Especificaciones

Basándonos en los requisitos del proyecto y los conceptos teóricos, nuestra antena deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

* **Frecuencia central**: 433MHz (banda ISM)
* **Tipo de antena**: Evaluaremos opciones como dipolo (omnidireccional, ~2.15 dBi) para el dispositivo móvil y posiblemente una antena Yagi o direccional para la estación base
* **Ganancia mínima**: 2-5 dBi para el dispositivo móvil, 5-8 dBi para la estación base
* **Polarización**: Vertical para mejor rendimiento en entornos móviles
* **Impedancia**: 50 ohm para máxima transferencia de energía
* **Patrón de radiación**: Omnidireccional para el dispositivo móvil, direccional para la estación base

## Implementación

Aceituna

### Desarrollo de software

Zi

# Pruebas y resultados

## Metodología de pruebas

Aceituna

## Evaluación de alcance

La descripción del programa

## Rendimiento del sistema

La descripción del programa

# Conclusiones

**Fernando Bryan Reza Campos:**

Conclusión chida

**Karen Navarro Hurtado:**

Conclusión chida x2

**Antonio Brayan Peña Bernabe:**

Conclusión chida x3

# Referencias y/o citas

* **Semtech.** (n.d.). LoRa technology overview. Recuperado de <https://www.semtech.com/lora>
* **LoRa Alliance.** (n.d.). LoRaWAN™ specification. Recuperado de <https://lora-alliance.org/resource-hub/lora-specification>
* **Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W.** (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things. Sensors, 16(9), 1466. <https://doi.org/10.3390/s16091466>
* **The Things Network.** (n.d.). Getting started with LoRaWAN. Recuperado de <https://www.thethingsnetwork.org/>
* **Hackster.io.** (n.d.). LoRa GPS Tracker projects. Recuperado de https://www.hackster.io/search?i=projects&q=LoRa+GPS+Tracker

# Anexos

## Código Fuente

Scripts de configuración para los módulos LoRa y GPS

Integración con la interfaz de usuario

Archivos de configuración del microcontrolador

## Archivos de Diseño

Esquemas eléctricos y diagramas de circuitos

Diseños y especificaciones de la antena

## Enlace de Repositorio

Accede al repositorio en: <https://github.com/Yrrrrrf/lora-tracker>

## Registro de Pruebas y Mediciones

Mediciones de alcance y rendimiento

Condiciones experimentales y configuraciones de prueba

Análisis de los resultados obtenidos

## Fotografías del Prototipo

El montaje del sistema

Resultados visuales de las pruebas en campo