

Sistema LoRa/APRS para aplicación de vigilancia para zonas vulnerables a desastres naturales.

Barrios Salazar Xavier, 2020177984, xbs20@estudiantec.cr

Fonseca Mora Carlos, 2019390525, cdfonseca30@estudiantec.cr

Rivera Gamboa Keylor, 2021089187, keylor.rivera.12@estudiantec.cr

Resumen—En el presente documento se encuentra una investigación acerca de los sistemas de comunicación APRS y LoRa, donde se detalla información importante acerca de ellos, como funcionan, en que bandas de frecuencia pueden operar en distintos lugares del mundo, así como aplicaciones de estos en diferentes áreas. Además, se presenta una propuesta de aplicación de un sistema de monitoreo para una zona vulnerable a desastres naturales, con detalle de información en la metodología de aplicación así como presupuestos y requerimientos.

Index Terms—APRS, LoRa, banda de frecuencia, aplicaciones, protocolos, monitoreo

I. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se realiza un estudio de dos tecnologías principales en las comunicaciones inalámbricas: APRS y LoRa. Ambas tecnologías permiten que los datos se transmitan a largas distancias, cada una con propiedades especiales que las hacen valiosas para aplicaciones reales, como monitoreo de ubicaciones, transmisión de datos meteorológicos o desarrollo de soluciones del Internet de las Cosas (IoT). El objetivo principal de la investigación es comprender estas operaciones tecnológicas, aplicaciones, protocolos y frecuencias operativas, así como practicar su implementación en el entorno real utilizando un módulo iGate basado en LoRa. Además, se estudia también la normativa costarricense actual para conocer los usos de frecuencias, asegurando el marco legal para su implementación. Este estudio considera una base para el desarrollo práctico destinado a integrar el conocimiento teórico con soluciones tecnológicas en el bajo consumo de energía y gran alcance, el cual se pondrá en práctica con una propuesta de aplicación, la cual consistirá en un sistema de monitoreo para zonas vulnerables a desastres naturales, partiendo de la base del módulo iGate que utiliza la tecnología LoRa/APRS e implementarlo en conjunto a diferentes tipos de sensores que forman el sistema deseado.

II. APRS

II-A. Descripción general

El APRS (Automatic Packet Reporting System) [1] es un sistema de radioaficionados diseñado para resistir un intercambio rápido y confiable de información táctica en tiempo real y que permite compartir datos de eventos, redes, o cualquier otro tipo de información relevante a cualquier otra estación de la red a través de equipos de radioaficionado, para ello ese utiliza bandas de frecuencias asignadas específicamente para realizar transmisiones de datos. Este sistema fue desarrollado por Bob Bruninga en la década de 1990.

II-B. Aplicaciones

El APRS se utiliza en varias aplicaciones como las siguientes [2]:

- **Seguimiento y mapeo de posiciones en tiempo real:** útil para la gestión de emergencias donde el seguimiento de la ubicación de los equipos de rescate, ambulancias u otros activos críticos requieren de rápidos tiempos de respuesta y la coordinación general. También en eventos públicos, como maratones o desfiles, donde los organizadores del evento necesitan monitorear la ubicación en tiempo real de los participantes y los vehículos de apoyo.
- **Informes de estaciones meteorológicas:** información sobre temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión barométrica y precipitaciones. Muchas estaciones meteorológicas principiantes transmiten estos datos a través de APRS, lo que proporciona una valiosa información meteorológica localizada que puede ser fundamental para la respuesta ante desastres y el conocimiento de la situación.
- **Mensajes bidireccionales, boletines y anuncios:** El APRS admite la transmisión y recepción de mensajes de texto, que pueden dirigirse a estaciones específicas o transmitirse a todas las estaciones dentro de la red. Esto es particularmente importante para comunicaciones de emergencia, donde una comunicación rápida y confiable es altamente requerido.
- **Integración en internet:** El sistema APRS para Internet (APRS-IS) conecta redes APRS locales con una red global de servidores, proporcionando acceso mundial a los datos APRS. Al vincular las redes APRS basadas en radioenlaces locales a Internet, APRS-IS permite que estaciones de todo el mundo compartan su información, convirtiendo el APRS en una herramienta de comunicación de acceso global.

II-C. Protocolos

El APRS trabaja con el protocolo AX.25 [2], este es utilizado por radioaficionados para la comunicación basada en paquetes. El protocolo AX.25 se deriva del conjunto de protocolos X.25, diseñado para redes conmutadas por paquetes. APRS utiliza el modo de tramas UI (tramas de información no numerada) de AX.25, permitiendo la comunicación sin conexión. Esto significa que las tramas APRS se transmiten sin necesidad de establecer una conexión, lo que lo hace ideal

para la comunicación de estilo difusión en tiempo real. Un paquete APRS se compone de varios campos:

- **Campo de dirección de destino:** este campo indica el receptor del paquete. Sin embargo, en APRS, este campo también puede contener información como el tipo de datos (por ejemplo, datos GPS, mensajes) o especificar un grupo al que se dirige el paquete. Algunos ejemplos de direcciones de destino incluyen GPS, APRS, y BEACON.
- **Campo de dirección de origen:** este campo contiene el distintivo de llamada y el SSID de la estación transmisora. El SSID (identificador de estación secundaria) es un identificador adicional que especifica entre los distintos tipos de transmisiones APRS o muestra los íconos que representan la estación en el mapa (por ejemplo, automóvil, casa, estación meteorológica, entre otros).
- **Campo de dirección de repetidor digital:** este campo contiene los distintivos de llamada de los repetidores digitales que retransmitirán el paquete. Pueden ser hasta ocho repetidores digitales en un paquete APRS, pero el uso de la gestión de rutas inteligente reduce la necesidad de especificar cada uno.
- **Campos de control e identificador de protocolo:** estos campos son estándar en todos los paquetes AX.25. El espacio de control está configurado en 0x03 para tramas de interfaz de usuario y el espacio de identificador de protocolo (PID) está configurado en 0xf0, lo que indica que no hay ningún protocolo de capa 3.
- **Campo de información:** el campo de información es el centro de un paquete APRS. Contiene los datos APRS reales y empieza con un identificador de tipo de datos (DTI) que especifica qué tipo de datos siguen. El campo de información puede incluir informes de posición, mensajes de texto, información meteorológica o incluso datos de telemetría.

II-D. Bandas de frecuencia

La banda de frecuencia [1] en la que opera es 144.390 MHz para América del norte y se dice que para el resto del continente es la misma, en Europa se utiliza 144,80 MHz, en Australia se utiliza 145,175 MHz y en Asia se utiliza 144.64 MHz.

II-E. Componentes

Los componentes de una red APRS se basan en un dispositivo con GPS, una red de digipeater, IGates, un servidor APRS y un software APRS disponible para computadoras o dispositivos móviles. En la Figura 1 se ejemplifica como se conectan todos estos componentes [2].

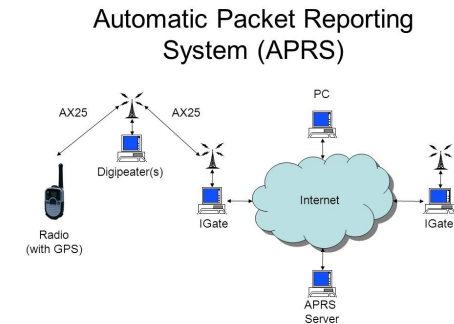


Figura 1: Esquema de componentes de una red APRS.

III. LoRa

III-A. Descripción general

LoRa (Long Range) es [3] una tecnología inalámbrica (así como WiFi, Bluetooth, LTE, SigFox o Zigbee) que utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech. LoRa es una tecnología de comunicación inalámbrica que combina un consumo de energía ultrabajo con un largo alcance efectivo. LoRa emplea una modulación de espectro ampliado con características similares a las de modulación por desplazamiento de frecuencia. Sin embargo, LoRa destaca gracias a su aumento notable del rango de comunicaciones. Algunas de sus ventajas son [4] la alta tolerancia a las interferencias, alta sensibilidad en la recepción de datos, bajo consumo de potencia, baja transferencia de datos (hasta 255 Bytes), conexión punto a punto.

III-B. Bandas de frecuencia

Las bandas de frecuencias de trabajo para LoRa son las siguientes [4]: 868 MHz en Europa, 915 MHz en América, y 433 MHz en Asia.

III-C. Aplicaciones

LoRa es flexible [5] para usos rurales o en interiores en agricultura inteligente, ciudades inteligentes, IoT industrial (IIoT), entornos inteligentes, control industrial, atención sanitaria inteligente, hogares y edificios inteligentes, servicios públicos y medición inteligentes (electricidad, agua, gas), y cadenas de suministro y logística inteligentes.

III-D. Módulos disponibles en el mercado

Existen múltiples módulos en el mercado que combinan el microcontrolador ESP32 con tecnología LoRa, ideales para proyectos de Internet de las Cosas (IoT) que requieren comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo energético.

- ESP32 LoRa V3 Placa de módulo con batería de 3000 mAh (Amazon, 31\$). Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/ESP32-V3-Placa-m%C3%B3dulo-bater%C3%ADa/dp/B0D2WXLZXQ?th=1>
- Módulo de placa de desarrollo LoRa ESP32 SX1276 LoRaWAN protocolo WIFI BLE pantalla

OLED con antena para Arduino 433/510MHz
868/915MHz (AliExpress, 16\$) Disponible en:
<https://es.aliexpress.com/i/32987170470.html>.

- ESP32-LORA915-OLED Modulo LoRa 915MHz con pantalla OLED (27\$). Disponible en: <https://www.didacticaselctronicas.com.co/shop/esp32-lora915-oled-modulo-lora-915mhz-con-pantalla-oled-14207attr=>
- Modulo Lora 32 V3 Iot Kit Esp32 Wifi Desarrollo Para Arduino (16\$). Disponible en: https://www.tienda.educabot.com/MLA-1422421393-modulo-lora-32-v3-iot-kit-esp32-wifi-desarrollo-para-arduino-_JM

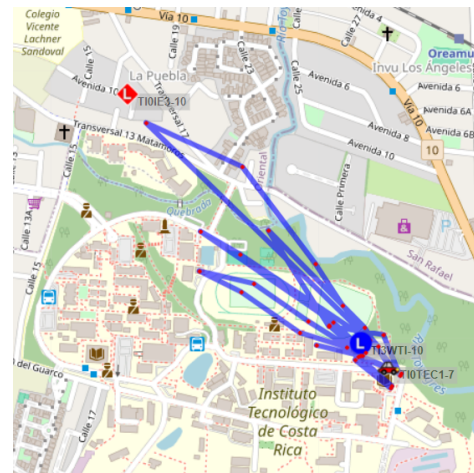


Figura 2: Captura del servidor APRS donde se observa el módulo programado.

IV. LEGISLACIÓN COSTARRICENSE

Para la obtención de un permiso de uso de frecuencias indicado, se debe seguir el siguiente procedimiento [6]:

- El interesado debe presentar la solicitud de permiso de uso de frecuencia ante la Viceministro de Telecomunicaciones del MICITT (Poder Ejecutivo).
- El Poder Ejecutivo remite dicha solicitud a la SUTEL para la emisión de un dictamen técnico.
- La SUTEL revisa la información presentada, elabora el dictamen técnico requerido y lo remite al Poder Ejecutivo.
- El Poder Ejecutivo resuelve la solicitud del interesado, considerando el dictamen técnico de la SUTEL, otorgando o no el permiso respectivo, según la legislación actual.
- El interesado recibe la notificación por parte del Poder Ejecutivo, respecto a la resolución de la solicitud presentada.

Para configurar correctamente el dispositivo, se hizo uso de la extensión Platformio de Visual Studio. Luego de cargar el programa al dispositivo, se ingresó a la dirección IP dada por este, en donde fue posible configurar la red wifi a la que se conectara, junto con la contraseña y SSID propio del módulo. Como se observa en las siguientes imagenes

AL cargar correctamente la extensión de platformio en VS, se cargará un ícono, tal como se muestra en la imagen 3.

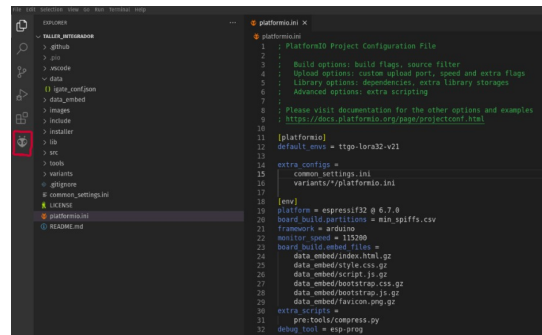



Figura 3: Captura de Visual Studio con la extensión solicitada.

V. USO PRÁCTICO CON MÓDULO IGate

Para la siguiente sección del proyecto, se realizó una implementación con un modulo LoRa iGate, el cual se le cargó el repositorio de GitHub de Richon Guzmán utilizando Platformio y se verificó en las páginas de APRS si el dispositivo utilizado era visible. En la Figura 2, se observa como en dichas páginas se observaba el dispositivo, el cual esta ubicado en las cercanías del ITCR, en la imagen se logra ver otros dispositivos en la escuela de electrónica.



Station

Add your Ham Callsign and SSID.

You can leave a comment describing your station.

In the bottom there is a field for personal note that can only be seen in WEB GUI.

Callsign - SSID

T10IE3-10

Beacon Comment


LoRa APRS

Beacon Path

WIDE1-1

Symbols

Red diamond with L



Latitude

9.860166

Longitude

-83.912011

Personal Note

A couple of words.

Figura 4: Configuración de los datos de la estación.

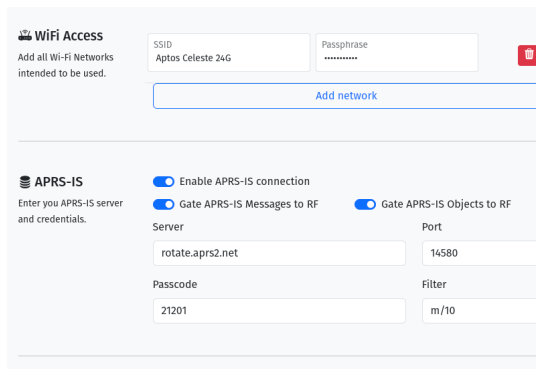


Figura 5: Configuración del WIFI y el servidor APRS.

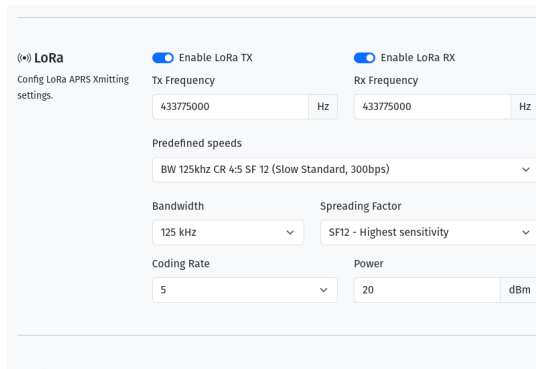


Figura 6: Configuración del radio LoRa.

VI. PROPUESTA DE APLICACIÓN

Como propuesta de aplicación utilizando el módulo iGate proporcionado, se presenta un sistema de vigilancia de zonas vulnerables a desastres naturales, ya sea incendios forestales, erupciones volcánicas, deslizamientos, actividad sísmica o inundaciones. Se propone implementar un sistema que sea capaz de trabajar con diferentes tipos de sensores y que utilice la tecnología LoRa para enviar los valores medidos de dichos sensores a través de internet o a redes APRS y se pueda realizar una visualización de estos datos para proseguir con un respectivo análisis.

Para esta aplicación, se propone utilizar sensores de humedad del suelo, de niveles de agua, de temperatura, de gas y de humo, acelerómetros, con estos se es capaz de realizar constantes mediciones para posibles deslizamientos, inundaciones, erupciones volcánicas, incendios forestales y actividad sísmica. Todos estos sensores se conectan a nodos LoRa, se utiliza el módulo iGate con un programa dedicado que le permita conectarse directamente a estos nodos para que sea capaz de realizar mediciones cada cierto periodo de tiempo y así recibir los datos correspondientes.

A su vez, el módulo iGate es capaz de conectarse a internet para transmitir los datos recibidos de los sensores y mediante una interfaz web, móvil o red APRS se podrá realizar el análisis correspondiente donde se puedan visualizar los datos y si se detecta un cambio brusco en alguna de las variables medidas, se podrá observar con facilidad y saber que en la zona ocurrió alguno de los desastres naturales anteriormente mencionados,

inclusivo se puede enviar alguna alerta automática para facilitar el proceso y actuar rápidamente.

Esta aplicación presenta varias ventajas, entre ellas que es un sistema de bajo costo comparado a aplicaciones más complejas, presenta un bajo consumo de energía, es capaz de cubrir zonas remotas y tiene una escalabilidad bastante notoria ya que se pueden incluir más sensores en caso de querer cubrir otras variables.

En la Figura 7 se encuentra un diagrama básico que permite tener una visualización de la propuesta que se desea realizar.

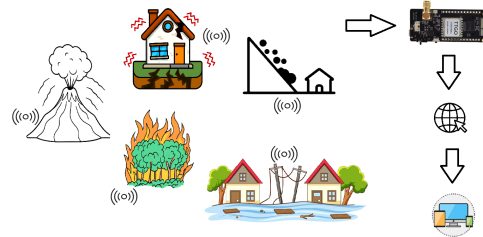


Figura 7: Dibujo general para la propuesta de aplicación

VI-A. Diagramas de nivel

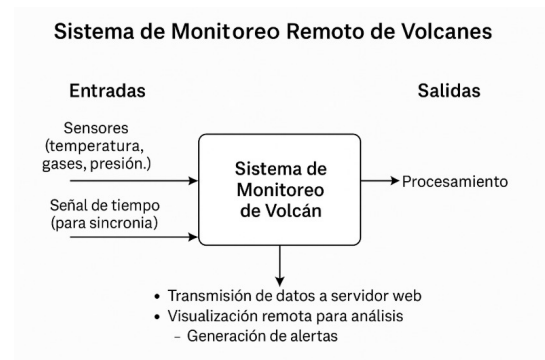


Figura 8: Diagrama de nivel 1

En este primer diagrama se muestran las entradas, principalmente las señales de los sensores de variables ambientales de interés para la propuesta, posteriormente a través del modulo del iGate son transmitidas a través de WiFi hacia una página/base de datos para ser procesados y analizados de forma de remota.

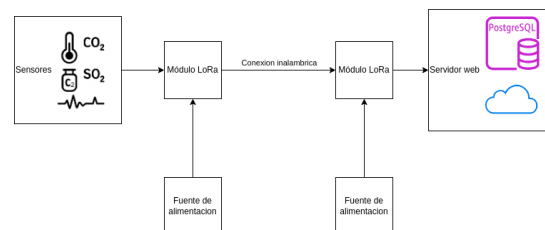


Figura 9: Diagrama de nivel 2

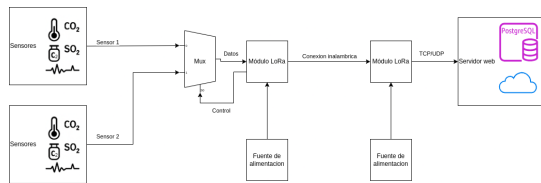


Figura 10: Diagrama de nivel 3

Con respecto al diagrama de cuarto nivel, se tiene:

Modulo sensores

Sensores de Monitoreo Ambiental

Diagrama modular: Sensores CO₂, SO₂ y señal de onda como se muestra en el diagrama de tercer nivel.

Objetivo del módulo: capturar datos ambientales críticos (CO₂, SO₂ y señales sísmicas) en zonas vulnerables a desastres naturales para su posterior análisis y alerta temprana

Entradas: concentración de CO₂ ambiental, concentración de SO₂ ambiental, señales sísmicas/vibraciones del terreno, alimentación eléctrica (batería/panel solar).

Salidas: señal analógica/digital de nivel de CO₂ (ppm), señal analógica/digital de nivel de SO₂ (ppm) señal analógica de actividad sísmica/vibración.

Explicación de la relación con otros módulos: Los sensores envían datos directamente al multiplexor (Mux) que selecciona y combina las señales. La configuración redundante (Sensor 1 y Sensor 2) asegura la captura continua de datos incluso si un grupo de sensores falla.

Cada sensor utiliza principios específicos para transformar variables físicas en señales eléctricas:

Sensor de CO₂: Utiliza tecnología con infrarrojo que mide la absorción de luz infrarroja por el CO₂. Sensor de SO₂: emplea una celda electroquímica que genera corriente proporcional a la concentración de gas. Sensor sísmico: utiliza acelerómetros de 3 ejes para detectar movimientos del terreno.

Diseño: Los sensores utilizan circuitos de acondicionamiento de señal con amplificadores operacionales para las señales. Incluyen convertidores ADC de 12 bits para digitalizar las lecturas analógicas. Se utilizan filtros paso-bajo para reducir el ruido. Cada sensor incorpora un microcontrolador ATmega328P (poseen un CPU de 8-bit y de arquitectura RISC con bajo nivel de alimentación) para procesamiento local y formateo de datos.

Multiplexor de Señales de Sensores:

Diagrama modular: Multiplexor como se muestra en el diagrama de tercer nivel.

Objetivo del módulo: seleccionar y combinar múltiples señales de sensores en un único flujo de datos para su transmisión eficiente a través del módulo LoRa.

Entradas: señales digitales del Sensor 1 (CO₂, SO₂, sísmicas, señales digitales del Sensor 2 (CO₂, SO₂, sísmicas), señal de control para selección de canal.

Salidas: flujo de datos combinado para el módulo LoRa.

Explicación de la relación con otros módulos: recibe datos de los dos conjuntos de sensores y los envía al módulo LoRa. Permite la selección inteligente de la fuente de datos más confiable o combina ambas para mayor precisión.

Explicación de funcionamiento utiliza un algoritmo de tiempo compartido para muestrear secuencialmente cada sensor. Prioriza las señales según su criticidad para la detección temprana de desastres. Incorpora un buffer FIFO para almacenar temporalmente datos cuando ocurren lecturas simultáneas importantes.

Diseño: implementado con un microcontrolador ESP32 que proporciona suficientes puertos de entrada/salida y capacidad de procesamiento. Incluye un algoritmo de validación de datos para filtrar lecturas anómalas. Utiliza comunicación SPI para interfaz con sensores digitales y puertos UART para comunicación con el módulo LoRa.

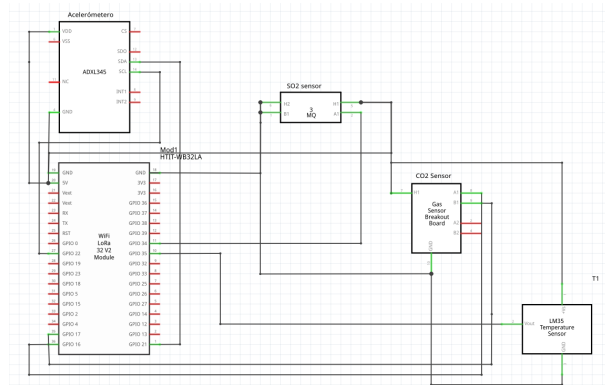


Figura 11: Diagrama de conexiones de los sensores.

Módulo LoRa (Transmisor):

Diagrama modular: Primer módulo LoRa como se muestra en el diagrama de tercer nivel.

Objetivo del módulo: transmitir de forma inalámbrica y eficiente los datos de los sensores a largas distancias utilizando tecnología LoRa, optimizando el consumo energético.

Entradas: flujo de datos desde el multiplexor, alimentación de la fuente de energía, señales de configuración/control.

Salidas: señal de radiofrecuencia LoRa en la banda de frecuencia ya mencionado y datos de estado.

Explicación de la relación con otros módulos: recibe datos procesados del multiplexor y los transmite al módulo LoRa receptor. Depende de la fuente de alimentación para su funcionamiento prolongado en campo.

Explicación de funcionamiento: utiliza modulación LoRa, permitiendo comunicaciones de largo alcance con bajo consumo energético.

Diseño: basado en módulos LoRa comerciales con interfaz SPI. Incluye antena externa para la frecuencia de operación. Incorpora reloj de tiempo real para sincronización.

Módulo LoRa (Receptor):

Diagrama modular: segundo módulo LoRa como se muestra en el diagrama de tercer nivel.

Objetivo del módulo: recibir señales LoRa de las estaciones remotas y convertirlas a protocolo TCP/IP para su integración con el servidor web.

Entradas: señal de radiofrecuencia LoRa, Alimentación de la fuente de energía, comandos de configuración

Salidas: datos en formato TCP para el servidor web, señales de estado.

Explicación de la relación con otros módulos: recibe datos del módulo LoRa transmisor y los transfiere al servidor web. Actúa como puerta de enlace (gateway) entre la red LoRa y la infraestructura de red TCP/IP.

Explicación de funcionamiento: Decodifica las señales LoRa recibidas y las empaqueta en formato TCP/IP. Implementa un sistema de cola de mensajes para manejar múltiples transmisiones simultáneas.

Diseño: implementado con un gateway LoRa. Incluye sistema Linux embebido para procesamiento de paquetes. Utiliza interfaz Ethernet para conexión con servidor web. Implementa protocolo LoRaWAN para gestión de red.

VII. MAQUINA DE ESTADOS

Para la implementación del sistema es necesario llevar un control de este, el cual permita que este constantemente realizando lecturas con los sensores y transmitiendo los datos correspondientes, para así cualquier anomalía presentada en cualquiera de los posibles casos sea detectada de manera inmediata y se pueda actuar en el menor tiempo de respuesta posible. En la Figura 12 se presenta un diagrama de estados para llevar el control de el sistema.

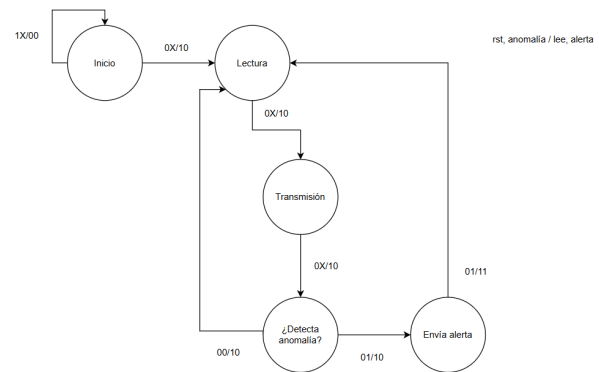


Figura 12: Diagrama de estados para el control del sistema.

Explicando este diagrama, la máquina de estados cuenta con dos señales de entrada, una es un reset para reiniciar el sistema, siempre es importante una señal de reset cuando se trabajan estos casos, la otra es una señal que indica si se presentó o no una anomalía, importante para que el sistema sea capaz de enviar las alertas necesarias y se pueda actuar de manera correcta. Se presentan dos señales de salida, una que se encarga de indicarle al sistema completo que realice las mediciones en los sensores y la otra es una señal que activa una alerta cuando se presente un desastre natural.

Se cuentan con 5 estados, el estado Inicio^{es} el estado inicial del sistema al cual siempre se caerá cuando el sistema sea arrancado o se realice el reseteo. El estado "Lectura" se encarga de que el sistema realice las mediciones constantes con todos los sensores que se encuentra utilizando, le sigue el estado "Transmisión", podría decirse que estos van de la mano ya que apenas realiza las lecturas pasa a este estado y realiza la transmisión mediante el módulo iGate para que los datos sean analizados y se pueda detectar posibles anomalías. El estado "¿Detecta anomalía?"^{es} el encargado de verificar si los datos recibidos presentan alguna anomalía, refiriéndose a cambios bruscos que pueden traducirse en la presencia de un desastre natural, el estado "Envía alerta" se encarga de activar una alarma para que el sistema alerte a todo el personal correspondiente con la presencia de un desastre natural y se actúe de la manera correspondiente.

VIII. CONCLUSIONES

- Se demostró que el uso de la tecnología LoRa/APRS es capaz de brindar una solución de alta efectividad y de bajo consumo de potencia en una zona vulnerable a desastres naturales.
- Se desarrolló un sistema escalable, el cual con el tiempo es capaz de mejorar con la implementación de más sensores y construir así un sistema más robusto, sin afectar la efectividad y la viabilidad de este.
- Se logró la conexión de diferentes módulos que abarcan aspectos desde control completo del sistema hasta secciones analógicas para la recolección de datos, todo esto sin necesidad de hacer una gran inversión económica para su instalación.

IX. ANEXOS

Tabla I: Cronograma de actividades

Actividad	Responsables	Tiempo
Creación de prototipo	Carlos, Keylor, Xavier	5 horas
Diseño de ingeniería	Carlos	4 horas
Diseño de software	Xavier	4 horas
Diseño de Red IoT	Keylor	4 horas
Recolección de información	Carlos, Keylor, Xavier	3 horas
Busqueda de sensores	Carlos, Keylor, Xavier	2 horas
Creación de parámetros	Xavier	2 horas
Calibración de sensores	Carlos	2 horas
Ajustes electrónicos	Keylor	2 horas
Reuniones	Carlos, Keylor, Xavier	8 horas
Pruebas de funcionamiento	Carlos, Keylor, Xavier	3 horas
Evaluación de calidad del prototipo	Carlos, Keylor, Xavier	3 horas
Elaboración de documento IEEE	Carlos, Keylor, Xavier	4 horas
Total	-	46 horas

Tabla II: Tabla de presupuesto

Elemento	Cantidad	Costo (€)	Total (€)
Sensor de temperatura	4	4,315	17,260
Sensor de gas	6	1,984	11,904
Sensor de humo	2	15,625	31,250
Acelerómetro	1	43,471	43,471
Módulo LoRa APRS	1	17,000	17,000
Materiales para aislamiento	3	30,000	90,000
Interfaz de usuario	1	100,000	100,000
Mano de obra	1	300,000	30,000
Alarma	1	25,000	25,000
Horas ingeniero	46	44,000	2,024,000
Total	-	-	2,734,945

REFERENCIAS

- [1] C. de Radio Experimentadores. “Qué es y cómo funciona el sistema APRS.” [Online]. (2024), dirección: <https://crecj.org/que-es-y-como-funciona-el-sistema-aprs/>.
- [2] R. C. Capitol. “Guía definitiva de APRS para radioaficionados.” [Online]. (s.f.), dirección: <https://www.radioclubcapitol.es/formacion/aprs/guia-aprs>.
- [3] A. Secure. “LORA: Que es y para que sirve?” [Online]. (s.f.), dirección: <https://alaiseecure.es/glosario/lora-que-es-y-para-que-sirve/>.
- [4] C. Sensors. “Tecnología LORA y LORAWAN.” [Online]. (s.f.), dirección: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>.
- [5] Semtech. “La tecnología LoRa está conectando nuestro planeta inteligente.” [Online]. (s.f.), dirección: <https://www.semtech.com/lora/lora-applications>.
- [6] M. de Ciencia Innovación Tecnología y Telecomunicaciones. “Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias del PNAF.” Decreto N° 44010-MICITT, Alcance n.º 99 a la Gaceta n.º 95, 30 de mayo. (2023).