
Inteligencia de Señales desde diversas fuentes de radiofrecuencia

Multisource RF SIGINT



Trabajo de Fin de Grado
Curso 2023–2024

Autor
Marcos Alonso Campillo

Director
José Luis Vázquez Poletti
Juan Carlos Fabero Jiménez

Colaborador
Colaborador 1
Colaborador 2

Grado en Ingeniería Informática
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

Inteligencia de Señales desde diversas fuentes de radiofrecuencia Multisource RF SIGINT

Trabajo de Fin de Grado en **Ingeniería Informática**

Autor
Marcos Alonso Campillo

Director
José Luis Vázquez Poletti
Juan Carlos Fabero Jiménez

Colaborador
Colaborador 1
Colaborador 2

Convocatoria: *Junio 2024*

Grado en Ingeniería Informática
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

DIA de MES de AÑO

Dedicatoria

*A mi familia, amigos y pareja por su apoyo
incondicional.*

Agradecimientos

A Guillermo, por el tiempo empleado en hacer estas plantillas. A Adrián, Enrique y Nacho, por sus comentarios para mejorar lo que hicimos. Y a Narciso, a quien no le ha hecho falta el Anillo Único para coordinarnos a todos.

Resumen

Inteligencia de Señales desde diversas fuentes de radiofrecuencia

Se presenta una solución innovadora en el campo del Open Source Intelligence (OSINT), centrada en el sistema APRS de reporte automático de paquetes. La herramienta que se ha desarrollado consiste en un sistema diseñado para recopilar, procesar y analizar datos en tiempo real provenientes de emisores de paquetes APRS.

La utilidad del sistema de reporte APRS se extiende a contextos tan diversos como pueden ser el monitoreo de estaciones meteorológicas hasta la gestión de recursos en casos de emergencias y el seguimiento de vehículos. Sin embargo, la complejidad de los datos generados por los emisores APRS y la falta de herramientas especializadas para su análisis dificultan la extracción de información relevante y la identificación de patrones significativos.

La solución que se propone aborda esta necesidad proporcionando una plataforma para la recopilación automatizada de los datos APRS, procesándolos para extraer información relevante y analizándolos para identificar patrones con el objetivo de ayudar a los usuarios a extraer información útil de los datos extraídos.

Palabras clave

OSINT, APRS, Análisis, Datos, Procesamiento.

Abstract

Multisource RF SIGINT

An innovative solution is presented in the field of Open Source Intelligence (OS-INT), focusing on the Automatic Packet Reporting System (APRS). The developed tool consists of a system designed to collect, process, and analyze real-time data from APRS packet transmitters.

The utility of the APRS reporting system extends to diverse contexts such as weather station monitoring, emergency resource management, and vehicle tracking. However, the complexity of data generated by APRS transmitters and the lack of specialized tools for analysis hinder the extraction of relevant information and the identification of significant patterns.

The proposed solution addresses this need by providing a platform for the automated collection of APRS data, processing it to extract relevant information, and analyzing it to identify patterns. The goal is to assist users in extracting useful information from the collected data.

Keywords

OSINT, APRS, Analysis, Data, Processing.

Índice

1. Introducción	1
1.1. ¿Qué es APRS?	1
1.2. Características Principales de APRS	1
1.3. Usos Principales de APRS	2
1.4. Historia y Desarrollo de APRS	3
1.5. Requisitos	3
1.6. La Idea	4
1.6.1. Enfoque	4
1.6.2. Beneficios	4
1.7. APRSINT	5
2. Contexto del problema y estado del arte	7
2.1. Contexto del problema	7
2.1.1. Barreras de entrada	7
2.1.2. Hardware	7
2.1.3. OSINT y APRS	8
2.2. Estado del Arte	8
2.2.1. aprs.fi	9
2.2.2. aprs.to	9
2.2.3. Comparación	10
3. Descripción del Trabajo	11
3.1. Arquitectura	11
3.2. Tecnologías utilizadas (Marco Teórico)	11
3.3. Adquisición de datos	18
3.4. Visualización y Presentación de datos	24
3.5. Orquestación	32
3.6. Apache Airflow	32
3.7. Alojamiento	33
4. Conclusiones y Trabajo Futuro	37
Introduction	39

4.1. ¿Qué es APRS?	39
4.2. Main APRS features	39
4.3. Main APRS applications	40
4.4. History and Development of APRS	40
Conclusions and Future Work	43
Bibliografía	45
A. Título del Apéndice A	47
B. Título del Apéndice B	49

Índice de figuras

1.1.	Logo de APRS.	1
1.2.	Mapa de frecuencias APRS en el mundo.	2
1.3.	Bob Bruninga (creador del sistema APRS).	3
1.4.	Estructura base de la aplicación.	5
2.1.	Ejemplo de un RTL-SDR de tipo usb.	8
2.2.	Interfaz de aprs.fi	9
2.3.	Interfaz de aprs.to	9
3.1.	Ejemplo de uso de Click.	17
3.2.	Infraestructura de la red APRS - APRS-IS.	20
3.3.	Formato de trama AX.25.	20
3.4.	Estructura de la base de datos.	24
3.5.	Primer diseño de la aplicación web en Figma.	25
3.6.	Resultados de la búsqueda de «emergency hospital».	28
3.7.	Grafo de estaciones APRS.	30
3.8.	Interfaz de Apache Airflow.	33
3.9.	Arquitectura del servidor web de APRSINT.	35
4.1.	APRS logo.	39
4.2.	Aprs emission frequency around the globe.	40
4.3.	Bob Bruninga (creator of the APRS system).	41

Índice de tablas

3.1. Esquema de orquestaciÓn con Apache Airflow.	32
--	----

Capítulo 1

Introducción

“Negar un hecho es lo más fácil del mundo. Mucha gente lo hace, pero el hecho sigue siendo un hecho.”
— Isaac Asimov

1.1. ¿Qué es APRS?

El APRS o Sistema Automático de Reporte de Paquetes (APRS, por sus siglas en inglés: Automatic Packet Reporting System) es un sistema de comunicaciones digitales en tiempo real que permite el intercambio de información entre estaciones de radioaficionados.

De manera general, APRS se utiliza para el rastreo de vehículos, la transmisión de mensajes de texto, la diseminación de información meteorológica y la comunicación en situaciones de emergencia aunque debido a la flexibilidad del protocolo puede ser usado en cualquier otra situación.



Figura 1.1: Logo de APRS.

1.2. Características Principales de APRS

APRS posee varias características que lo hacen útil y versátil en el ámbito de la comunicación de radioaficionados, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- **Frecuencia de Operación:** APRS opera en la banda de VHF, específicamente en la frecuencia de 144.80 MHz en Europa, aunque en otras regiones

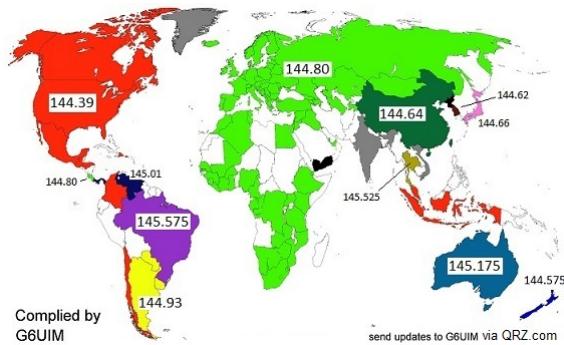


Figura 1.2: Mapa de frecuencias APRS en el mundo.

del mundo se utilizan frecuencias diferentes tal como se muestra en la figura Figure 4.2.

- **Modo de Transmisión:** APRS utiliza como modo de transmisión paquetes individuales que han de seguir un formato establecido, esto facilita enormemente la adopción e integración de esta tecnología.
- **Actualización de Datos en APRS:** En el sistema APRS, un paquete de información se transmite múltiples veces, disminuyendo gradualmente la frecuencia de envío de estas transmisiones a medida que el tiempo avanza. Este método tiene como objetivo maximizar la tasa de recepción de los paquetes.

1.3. Usos Principales de APRS

- **Reportes GPS:** APRS permite a los usuarios enviar su ubicación geográfica en forma de coordenadas, obtenida a través de sistemas GPS, lo que facilita el seguimiento de vehículos o personas en tiempo real.
- **Datos Meteorológicos:** Las estaciones meteorológicas suelen utilizar mensajes APRS para reportar diferentes datos como temperatura, humedad o presión barométrica, incluyendo información actualizada y útil para diversas aplicaciones.
- **Integración con Internet:** Mediante el sistema APRS-IS, los mensajes APRS son accesibles por internet a través de distintos nodos, ampliando el alcance y la extensión de este sistema.
- **Uso en Emergencias:** En situaciones de emergencia, APRS es una herramienta vital para la comunicación de broadcast y el seguimiento de recursos y personal.

1.4. Historia y Desarrollo de APRS

El sistema APRS nació en la década de los 80 de la mano de Bob Bruninga, un ingeniero que trabajaba como en la Academia Naval de los Estados Unidos. Bruninga creó la primera implementación de APRS en un ordenador Apple II en 1982 con el objetivo de mapear informes de posición de la Marina en alta frecuencia.¹

El primer uso real del APRS fue en 1984, cuando Bruninga desarrolló una versión más avanzada en un VIC-20 para reportar la posición y el estado de los caballos de una carrera de resistencia.

Durante los siguientes años, Bruninga continuó perfeccionando el sistema, al que posteriormente bautizó como Sistema de Tráfico de Emergencia Sin Conexión (CETS, por sus siglas en inglés).

Tras una serie de ejercicios de la Agencia Federal de gestión de Emergencias (FEMA) usando CETS, el sistema fue trasladado al IGM Pc. Durante la década de los 90, CETS (ya conocido como el Sistema de Reporte Automático de Posición) continuó evolucionando.

A medida que la tecnología GPS se volvía más ampliamente disponible, el término “Posición” se reemplazó por “Paquete” para representar mejor las capacidades más generales del sistema y enfatizar sus usos más allá del mero reporte de posición.



Figura 1.3: Bob Bruninga (creador del sistema APRS).

1.5. Requisitos

La solución propuesta debe cumplir con una serie de requisitos imprescindibles para asegurar su utilidad y accesibilidad:

- **Bajo Costo:** La solución debe ser económica para garantizar su accesibilidad a una amplia gama de usuarios, incluidos aquellos con presupuestos limitados.
- **Flexibilidad de Alojamiento:** La solución debe ofrecer la capacidad de auto-alojamiento, los usuarios deben poder optar por alojarla en sus propios servidores o usar la solución en la nube según sus preferencias y requisitos específicos.

¹<http://www.aprs.org/APRS-docs/ARTICLES.TXT>

- **Extensible:** La solución debe ser extensible, lo que significa que debe permitir la integración de nuevas funcionalidades y la expansión de su capacidad según las necesidades cambiantes de los usuarios.
- **Mejor Filtrado:** Se debe ofrecer un filtrado más preciso y flexible en comparación con las plataformas existentes, lo que permitirá a los usuarios obtener información relevante y útil de los datos APRS para complementar la ya proporcionada por las alternativas.
- **Análisis de Datos Integrado:** La solución debe incluir un análisis de datos integrado para ayudar a los usuarios a comprender mejor la información recibida a través del APRS y obtener perspectivas y conclusiones valiosas a partir de los mensajes transmitidos.

1.6. La Idea

Se propone una solución completa que incluya la adquisición, procesamiento, visualización y análisis de datos APRS. La solución se centrará en mejorar la experiencia del usuario y enriquecer la información disponible a través de la integración de datos de diversas fuentes abiertas y disponibles.

1.6.1. Enfoque

- **Experiencia de Usuario Mejorada:** La solución tendrá una interfaz intuitiva, rápida y útil que facilite la navegación y la interacción con los datos.
- **Análisis avanzado:** La solución contará con herramientas avanzadas para la visualización detallada del tráfico APRS, filtrado preciso y análisis de datos, con el objetivo de extraer inteligencia de los mensajes recibidos.
- **Complementación:** La solución no tiene como objetivo sustituir a aprs.fi, aprs.to u otras plataformas similares, sino ofrecer una alternativa con funcionalidades complementarias que enriquezcan la experiencia del usuario.
- **Enriquecimiento de Información:** Se recopilarán datos provenientes de diversas fuentes abiertas y disponibles para ofrecer una visión más completa del tráfico APRS y sus usuarios, mejorando así la calidad de la información disponible para los usuarios.

1.6.2. Beneficios

- **Mayor Comprensión del Tráfico APRS:** Los usuarios podrán obtener información más detallada y procesable a partir de los mensajes transmitidos, lo que les permitirá una mayor comprensión del tráfico APRS.

- **Toma de Decisiones más Efectiva:** El análisis de datos integrado ayudará a los usuarios a tomar decisiones más informadas en base a la información recibida, mejorando así la eficacia de sus acciones.
- **Flexibilidad:** La opción de autoalojamiento permitirá a los usuarios tener un mayor control sobre sus datos y privacidad, proporcionando así una mayor flexibilidad en cuanto a su gestión.

1.7. APRSINT

La solución propuesta se ha llamado **APRSINT**, que es una combinación de APRS y OSINT. APRSINT está dividida en tres módulos principales:

- **Adquisición de Datos:** Este módulo se encargará de recopilar y almacenar los mensajes APRS de diversas fuentes, así como de integrar datos de otras fuentes abiertas y disponibles.
- **Procesamiento y Análisis:** Este módulo se encargará de procesar y analizar los datos recopilados, ofreciendo herramientas avanzadas de visualización, filtrado y análisis de datos.
- **Visualización y Presentación:** Este módulo se encargará de presentar los datos procesados y analizados de forma clara y comprensible, facilitando la interpretación y la toma de decisiones.

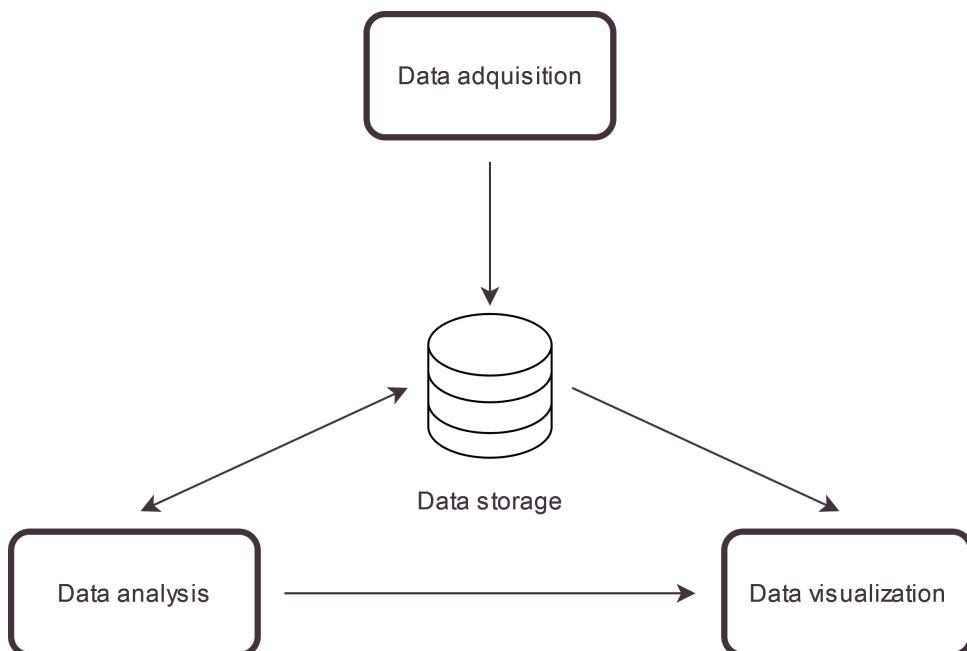


Figura 1.4: Estructura base de la aplicación.

Cada uno de estos módulos será explicado en detalle en el capítulo siguiente.

Capítulo 2

Contexto del problema y estado del arte

2.1. Contexto del problema

El *Automatic Packet Reporting System* (APRS) como sistema de comunicación digital se basa en la gran comunidad de radioaficionados e incluso tiene aplicaciones industriales como la transmisión de información en tiempo real de vehículos logísticos o estaciones de meteorología. A pesar de su versatilidad y flexibilidad, el APRS presenta algunas barreras de entrada para usuarios que no pertenecen a la comunidad radioaficionada o tienen sólidos conocimientos de este ámbito. En este capítulo, se analizarán estas barreras y se discutirán los requisitos necesarios.

2.1.1. Barreras de entrada

El APRS requiere conocimientos básicos sobre radiocomunicación y la obtención de una licencia de radioaficionado en caso de querer emitir. La obtención de la licencia a pesar de no implicar un desembolso económico importante, si que requiere un estudio y comprensión de los sistemas y legislación pertinente.

Adicionalmente, el APRS utiliza una estructura de mensaje específico y un conjunto de protocolos que pueden ser difíciles de entender para usuarios no familiarizados con este tipo de tecnología. La falta de documentación y antigüedad de esta hacen que desarrollar soluciones para este sistema sea complicado.

2.1.2. Hardware

Para utilizar APRS, se necesita hardware especializado que incluya un transceptor de radio, un *Terminal Node Controller* (TNC) y un dispositivo GPS (opcionalmente), existen otras opciones más baratas como los dispositivos *software defined radio* o RTL-SDR Figure 2.1 que se conectan directamente a un ordenador. Los TNC son dispositivos que convierten las señales digitales emitidas por un ordenador en señales de radio y viceversa. El dispositivo GPS proporciona información de ubicación que se puede transmitir junto con otros datos en el cuerpo del mensaje.

El precio del hardware APRS puede variar dependiendo de la calidad y las características del equipo. Sin embargo, a pesar de no contar con precios prohibitivamente altos, la inversión que supone conlleva el hecho de que solamente los usuarios con



Figura 2.1: Ejemplo de un RTL-SDR de tipo usb.

un interés previo en la radioafición o la tecnología en general estén dispuestos a adquirirlo.

2.1.3. OSINT y APRS

El APRS sirve como una herramienta de comunicación para los radioaficionados y de reporte de telemetría para las industrias. Pero se puede convertir en una valiosa fuente de información para la obtención de inteligencia (OSINT). Esto se debe a su capacidad para proporcionar una gran cantidad de datos en tiempo real sobre ubicación y estado de los activos así como una amplia gama de información adicional.

En el ámbito del OSINT, el APRS ofrece una serie de aplicaciones prácticas. Por ejemplo, los datos APRS son actualmente utilizados para el rastreo de vehículos en tiempo real, lo que resulta muy útil para empresas de logística y transporte. Además, la red APRS se utiliza para monitorear la actividad de estaciones meteorológicas, proporcionando datos en tiempo real sobre condiciones climáticas locales. También se utiliza en situaciones de emergencia, como pueden ser desastres naturales o incidentes críticos, el APRS desempeña un papel crucial al permitir la transmisión rápida de información sobre ubicaciones de refugios, recursos disponibles y necesidades de ayuda, ya que no depende necesariamente de infraestructura de una entidad como si lo hace la red telefónica.

Aunque el APRS tiene un gran potencial para aplicaciones en el ámbito del OSINT, su uso en esta área es prácticamente inexistente. Este hecho puede explicarse en parte por las barreras de entrada mencionadas anteriormente, que incluyen la necesidad de poseer conocimientos especializados en radiocomunicación, obtener licencias de radioaficionado y adquirir hardware especializado.

2.2. Estado del Arte

Existen varios sitios web que ofrecen servicios relacionados con APRS, entre los cuales destacan aprs.fi y aprs.to probablemente las dos webs más grandes.

2.2.1. aprs.fi

aprs.fi es una de las webs más utilizadas para visualizar datos APRS en tiempo real y acceder a un histórico extenso de información. Sin embargo, su interfaz puede considerarse un tanto desactualizada (ver Figure 2.2), lo que puede dificultar la navegación y la búsqueda de información específica. Aunque ofrece una gran cantidad de datos y un histórico significativo, la plataforma carece de capacidades avanzadas de filtrado de estaciones y mensajes. Además, para acceder a funciones más complejas y realizar extracciones de datos, es necesario crear una cuenta.

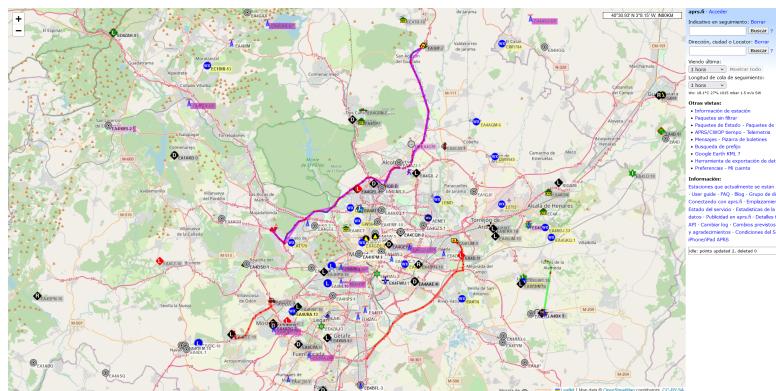


Figura 2.2: Interfaz de aprs.fi

2.2.2. aprs.to

Por otro lado, aprs.to ofrece una interfaz más moderna y cuidada (ver Figure 2.3), lo que facilita la navegación y la búsqueda de información. Además, permite realizar búsquedas básicas y aplicar filtros para refinar los resultados. Sin embargo, al igual que aprs.fi, también requiere que los usuarios se creen una cuenta para acceder a ciertas funcionalidades avanzadas.

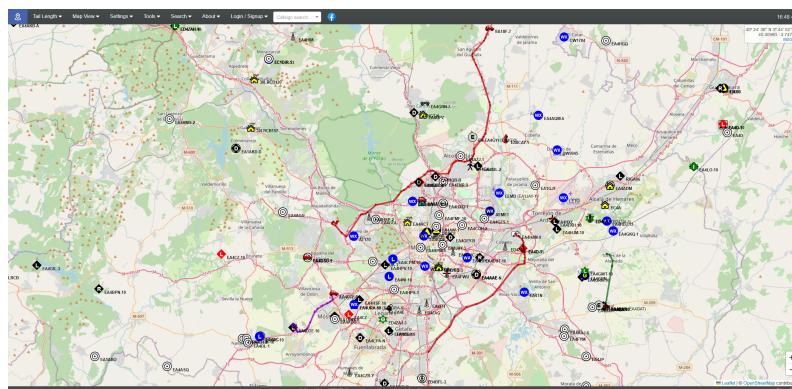


Figura 2.3: Interfaz de aprs.to

2.2.3. Comparación

En resumen, aprs.fi, la web de visualización de APRS por excelencia, ofrece una gran base de datos y una gran cantidad de información histórica de datos APRS, pero su interfaz puede resultar algo desactualizada y carece de capacidades avanzadas de filtrado. Por otro lado, aprs.to presenta una interfaz más moderna y permite realizar búsquedas básicas y aplicar filtros, aunque también requiere crear una cuenta para acceder a ciertas funciones. Ambas plataformas tienen puntos fuertes y débiles y por esa razón lo mejor es usarlas en conjunto.

Capítulo 3

Descripción del Trabajo

En este capítulo se describirá la arquitectura de la aplicación, así como las tecnologías utilizadas para su implementación.

3.1. Arquitectura

Se pueden categorizar los tres módulos (**Adquisición de datos, Procesamiento y análisis, Visualización y Presentación**) de la aplicación mencionados en el capítulo anterior en dos categorías principales:

- **Adquisición de paquetes APRS:** En este módulo se encuentran los componentes encargados de la adquisición de paquetes APRS. Estos componentes se encargan de recibir los paquetes APRS, procesarlos y almacenarlos en la base de datos de la aplicación.
- **Aplicación web APRSINT:** En este módulo se encuentran los componentes encargados del análisis, la interpretación y la visualización, de los datos almacenados en la base de datos de la aplicación. Estos componentes se encargan de presentar la información de manera rápida y cómoda para el usuario.

3.2. Tecnologías utilizadas (Marco Teórico)

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos de APRSINT es el de ser una solución accesible y fácil de usar. Para lograr este objetivo, se han seleccionado tecnologías ampliamente utilizadas y bien documentadas. A continuación se describen las tecnologías utilizadas en cada uno de los módulos de la aplicación.

Raspberry Pi

La Raspberry Pi es un *Single board computer (SBC)* u ordenador de placa única desarrollada por la Fundación Raspberry Pi. Las Raspberry pi son muy populares en el mundo de la informática y la electrónica por su bajo precio, reducido tamaño y su versatilidad.

- **Bajo precio:** La Raspberry es una opción económica para implementar desde prototipos hasta aplicaciones simples, lo que la hace muy accesible para una amplia gama de usuarios.

- **Bajo Consumo Energético:** Su diseño de bajo consumo energético la hace ideal para aplicaciones que requieren funcionamiento continuo.
- **Versatilidad:** La Raspberry Pi 4 es altamente versátil y puede adaptarse a una variedad de casos de uso, desde servidores ligeros hasta placas de desarrollo para robótica y automatización.

Se ha seleccionado la Raspberry Pi 4B¹ de 8GB de memoria RAM como plataforma de hardware para la implementación de la solución, debido a sus características y capacidades.

Disco duro ssd

Los discos duros de estado sólido (SSD) son una alternativa a los discos duros tradicionales (HDD) que ofrecen una mayor velocidad de lectura y escritura, menor consumo energético y mayor durabilidad. Se ha seleccionado un disco duro SSD de 250GB que se haya conectado a la Raspberry-pi para almacenar el gran volumen de datos que consume y genera la aplicación a su velocidad y fiabilidad.

Python

Python es un lenguaje de programación interpretado, de alto nivel y de propósito general. Es ampliamente utilizado en el desarrollo de aplicaciones web, científicas y de análisis de datos debido a su simplicidad, flexibilidad y facilidad de uso. Se ha seleccionado Python como lenguaje de programación principal para la implementación de la solución debido a la gran versatilidad que ofrece y sobre todo por la existencia de extensas librerías de visualización y manejo de grandes volúmenes de datos.

Dash

Dash es un framework de Python creado por Plotly para la creación de aplicaciones web interactivas y visualizaciones de datos. Dash permite crear aplicaciones web interactivas y visualizaciones de datos atractivas utilizando Python como lenguaje de programación. Dash esta construido encima de React. Se ha seleccionado Dash como framework para la implementación de la interfaz web de la aplicación debido a su facilidad de uso y a la gran cantidad de funcionalidades que ofrece. Dash está escrito encima de Plotly.js, React y Flask lo que permite una gran capacidad de personalización.

- **Interactividad:** Dash permite crear aplicaciones web altamente interactivas, lo que facilita la exploración de datos y la toma de decisiones.

¹ Cuando se comenzó el proyecto todavía no se había lanzado la versión 5.

- **Flexibilidad:** Su arquitectura modular y su amplia gama de componentes permiten la creación de aplicaciones web personalizadas y adaptadas a las necesidades específicas del usuario.
- **Integración con Plotly:** Al estar desarrollado por Plotly, Dash ofrece una integración perfecta con las capacidades de visualización de datos de Plotly, lo que permite crear gráficos y visualizaciones muy atractivas.

Para crear la aplicación web se consideraron algunas alternativas como Django, Streamlit y PowerBI, sin embargo, Dash fue la opción escogida debido a su extensa capacidad de personalización y personalización de la que carecían las demás opciones.

Cosmograph JS

Cosmograph es una librería de JavaScript enfocada en la visualización de grandes grafos y redes complejas en aplicaciones web. Permite representar de manera interactiva relaciones entre entidades, facilitando la comprensión y el análisis de datos estructurados.

- **Visualización de Grafos:** Cosmograph ofrece herramientas avanzadas para la representación visual de grafos como líneas temporales, histogramas y búsquedas de nodos, una mayor comprensión y capacidad de análisis de la información.
- **Rendimiento:** Cosmograph a diferencia de otras librerías más populares como Sigma JS transfiere todos los cálculos de posiciones de los nodos y aristas así como la representación gráfica de este a la GPU. Esto permite la visualización de grafos con miles de nodos y aristas sin afectar el rendimiento de la aplicación.
- **Personalización:** Ofrece opciones de personalización para adaptar la apariencia y el comportamiento de los nodos y aristas según las necesidades específicas del usuario.

Después de una gran cantidad de pruebas y tras considerar muchas alternativas como Sigma-JS, CytoScape y networkx, se acabó eligiendo Cosmograph sobre todo por su rendimiento.

PostgreSQL

PostgreSQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto y potente, conocido por su fiabilidad, robustez y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos. Ofrece una amplia gama de características avanzadas que lo hacen adecuado para aplicaciones web y empresariales exigentes.

- **Fiabilidad y Robustez:** PostgreSQL es conocido por su alta fiabilidad y capacidad para manejar grandes cargas de trabajo sin sacrificar el rendimiento.

- **Escalabilidad:** Es altamente escalable y puede manejar grandes volúmenes de datos y transacciones concurrentes sin problemas.
- **Funcionalidades Avanzadas:** Ofrece una amplia gama de funcionalidades avanzadas, como soporte para transacciones ACID, vistas materializadas, procedimientos almacenados y Full Text Search (búsqueda de indizada).
- **Almacenamiento de datos semiestructurados:** PostgreSQL es capaz de almacenar y manipular datos no estructurados como JSON de manera eficiente, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren almacenamiento de datos semiestructurados.
- **Rendimiento:** PostgreSQL ofrece un rendimiento sólido, especialmente en entornos de alta concurrencia y cargas de trabajo intensivas.

La elección de PostgreSQL como sistema de gestión de bases de datos se debió a su robustez, facilidad de uso y a la gran cantidad de funcionalidades que ofrece.

Sqlalchemy

SQLAlchemy es una biblioteca de Python que facilita la interacción con bases de datos relacionales utilizando un enfoque orientado a objetos. Permite trabajar con diferentes motores de bases de datos, como PostgreSQL, MySQL, SQLite, entre otros, de una manera consistente y eficiente.

- **Abstracción de la Base de Datos:** SQLAlchemy proporciona una capa de abstracción sobre la base de datos, lo que permite a los desarrolladores interactuar con la base de datos utilizando objetos de Python en lugar de consultas SQL directas.
- **Compatibilidad con Múltiples Motores:** Es compatible con una variedad de motores de bases de datos, lo que brinda flexibilidad para trabajar con diferentes sistemas de gestión de bases de datos según las necesidades del proyecto. En este caso se ha utilizado el motor psycopg2 para la conexión con PostgreSQL.
- **ORM (Mapeo Objeto-Relacional):** Ofrece un ORM potente y flexible que mapea objetos Python a tablas de bases de datos, facilitando el manejo de relaciones entre objetos y la persistencia de datos.
- **Seguridad:** SQLAlchemy proporciona herramientas para prevenir ataques de inyección SQL y otros problemas de seguridad comunes en el manejo de bases de datos.

La elección de SQLAlchemy se ha basado en su capacidad para mejorar el proceso de interacción con la base de datos. Permitiendo una estrecha integración entre la base de datos y la aplicación, permitiendo una flexibilidad muy grande a la hora de hacer consultas o inserciones y sobre todo creando una capa de seguridad para evitar ataques.

aprslib

aprslib es una biblioteca de Python que facilita la interacción con el sistema APRS. Permite recibir y decodificar paquetes APRS, así como enviar paquetes APRS a través de la red APRS-IS.

- **Recepción de Paquetes:** aprslib permite recibir paquetes APRS de la red APRS-IS de manera sencilla.
- **Decodificación de Paquetes:** Facilita la decodificación de paquetes APRS, permitiendo extraer información útil como la posición, velocidad y rumbo de los objetos rastreados.
- **Envío de Paquetes:** aprslib permite enviar paquetes APRS a través de la red APRS-IS, lo que facilita la integración con el sistema APRS.

Se ha elegido la librería aprslib por su facilidad de uso, su documentación y su capacidad para decodificar los paquetes APRS.

AWS

Amazon Web Services (AWS) es una plataforma de servicios en la nube ofrecida por Amazon. Proporciona servicios de infraestructura informática, almacenamiento, bases de datos, análisis e inteligencia artificial, entre otros.

- **Fiabilidad:** La infraestructura global de AWS está diseñada para ser altamente disponible y resistente a fallos, lo que garantiza la continuidad del servicio y la seguridad de los datos.
- **Variedad de Servicios:** AWS ofrece una amplia gama de servicios, desde almacenamiento y bases de datos hasta aprendizaje automático y análisis de datos, lo que permite a las empresas construir y desplegar una amplia variedad de aplicaciones y soluciones.
- **Flexibilidad:** AWS proporciona opciones flexibles de implementación, incluyendo la capacidad de utilizar infraestructura física, virtual o basada en contenedores, según las necesidades del proyecto.
- **Seguridad:** AWS cuenta con robustas medidas de seguridad para proteger los datos y las aplicaciones, incluyendo controles de acceso, cifrado de datos y protección contra amenazas.

La elección de AWS así como los detalles de la implementación en la nube se describirán en la siguiente sección.

Supervisord

Supervisor es un sistema de control de procesos para sistemas operativos tipo Unix, diseñado para iniciar, detener y gestionar procesos de manera sencilla y ro-

busta. Permite supervisar y mantener en funcionamiento aplicaciones y servicios, reiniciándolos automáticamente en caso de fallos o reinicios del sistema.

- **Gestión de Procesos:** Supervisor facilita la gestión de procesos al permitir iniciar, detener, reiniciar y supervisar procesos de manera centralizada.
- **Monitorización:** Supervisor proporciona información detallada sobre el estado de los procesos, incluyendo registros de eventos y estadísticas de rendimiento.
- **Reinicio Automático:** En caso de fallos, Supervisor puede reiniciar automáticamente los procesos afectados, minimizando el tiempo de inactividad y manteniendo la disponibilidad del servicio.

Se ha seleccionado Supervidord como gestor de procesos gracias a su facilidad, flexibilidad (permitiendo ejecutar scripts de Python directamente) y robustez.

Pandas

Pandas es la librería de facto de Python para el manejo y análisis de datos estructurados. Está escrita sobre Numpy (escrito en c) por lo que cuenta con muy buen rendimiento. Esta librería permite la lectura y escritura de datos en diferentes formatos, la manipulación de datos, la limpieza de datos y la creación de gráficos.

Conda

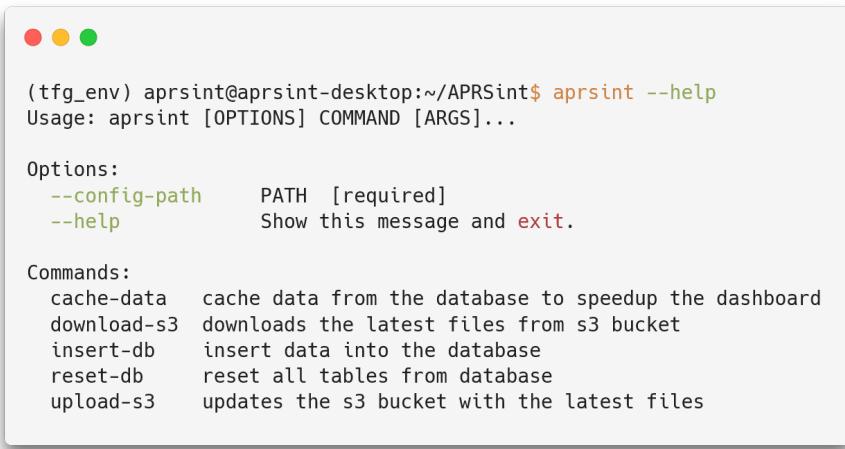
Conda es un gestor de paquetes, entornos y canales de código abierto que facilita la instalación y gestión de paquetes y dependencias en Python. Conda permite crear entornos virtuales aislados para proyectos específicos, lo que facilita la gestión de dependencias y la compatibilidad entre versiones de paquetes. Se ha seleccionado conda como gestor de paquetes para la instalación de las librerías y dependencias necesarias para la aplicación.

- **Gestión de paquetes:** Conda facilita la instalación, actualización y eliminación de paquetes de software. Esto es particularmente útil cuando se trabaja en proyectos que requieren bibliotecas específicas con versiones concretas.
- **Entornos virtuales:** Conda permite la creación de entornos virtuales independientes para cada proyecto. Esto significa que pueden existir diferentes versiones de paquetes instaladas en diferentes entornos sin que entren en conflicto entre sí. Esto es especialmente útil cuando se necesita trabajar en proyectos con diferentes requisitos de dependencias.
- **Portabilidad y reproducibilidad:** Al utilizar Conda para gestionar las dependencias de los proyectos, se puede garantizar que otros puedan reproducir el entorno de desarrollo exactamente como estaba. Esto es fundamental para la colaboración en proyectos de software y la investigación reproducible en ciencia de datos.

- **Flexibilidad:** Conda no se limita solo al ecosistema de Python. También puede gestionar paquetes de otros lenguajes de programación, como R, Java y C/C++. Esto lo convierte en una herramienta versátil para proyectos que involucran múltiples tecnologías.

Click

Click es una librería de Python que permite la creación de herramientas de línea de comandos de manera sencilla y eficiente. Click facilita la creación de interfaces de usuario basadas en texto, lo que permite a los usuarios interactuar con las aplicaciones a través de la terminal. Se muestra un ejemplo de uso de Click en la Figure 3.1.



A screenshot of a terminal window titled '(tfg_env) aprsint@aprsint-desktop:~/APRSint\$'. The window displays the usage information for the 'aprsint' command, which includes options for configuration path and help, and commands for interacting with a database and S3 bucket.

```
(tfg_env) aprsint@aprsint-desktop:~/APRSint$ aprsint --help
Usage: aprsint [OPTIONS] COMMAND [ARGS]...

Options:
  --config-path    PATH  [required]
  --help           Show this message and exit.

Commands:
  cache-data      cache data from the database to speedup the dashboard
  download-s3     downloads the latest files from s3 bucket
  insert-db        insert data into the database
  reset-db         reset all tables from database
  upload-s3        updates the s3 bucket with the latest files
```

Figura 3.1: Ejemplo de uso de Click (elaboración propia).

Apache Airflow

Apache Airflow es una plataforma de orquestación de tareas y flujos de trabajo. Es similar a Cron de Unix, pero permite una mayor personalización y control de las tareas que ejecuta. Las tareas se definen en archivos separados facilitando la compartimentalización y ofreciendo una mayor robustez y escalabilidad.

- **Orquestación de Flujos de Trabajo:** Airflow facilita la orquestación de flujos de trabajo complejos al permitir definir tareas y sus dependencias como DAG's, lo que proporciona una visión clara de la lógica de ejecución.
- **Escalabilidad:** Airflow es altamente escalable y puede manejar flujos de trabajo de cualquier tamaño, desde tareas simples hasta flujos de trabajo altamente complejos.

- **Monitoreo y Alertas:** Proporciona una interfaz de usuario web para monitorear el estado de los flujos de trabajo, así como capacidades de alerta para detectar y responder a fallos o retrasos en la ejecución de tareas.
- **Extensibilidad:** Airflow es altamente extensible y permite integrar fácilmente con otros sistemas y herramientas, lo que permite construir flujos de trabajo personalizados que se adapten a las necesidades específicas del proyecto.

Configuración del proyecto

Para la configuración del proyecto se ha utilizado un entorno virtual de conda. Se ha creado un entorno virtual con las librerías necesarias para la ejecución de la aplicación. Algunas de las librerías más importantes que se han utilizado son las siguientes:

- **aprslib:** Para la recepción y decodificación de paquetes APRS.
- **boto3:** Para la interacción con los servicios de AWS.
- **SQLAlchemy:** Para la interacción con la base de datos PostgreSQL.
- **pandas:** Para la compresión y descompresión de ficheros.
- **dash:** Para la creación de la aplicación web interactiva.
- **click:** Para la creación de herramientas de línea de comandos.

Se ha creado un archivo de configuración en el que se definen las variables de entorno necesarias para la ejecución de la aplicación. Estas variables incluyen la configuración de la base de datos, las credenciales de AWS, la configuración de la aplicación web, entre otras.

Adicionalmente se ha configurado el proyecto con setuptools para facilitar la instalación y distribución de la aplicación. Se ha creado un archivo setup.py en el que se definen las dependencias del proyecto y se especifica la estructura del proyecto. Esto permite instalar la aplicación con un simple comando de pip.

```
pip install -i .
```

3.3. Adquisición de datos

En esta sección se describirá con detalle el módulo de adquisición de datos de la aplicación, incluyendo la arquitectura, los componentes y las tecnologías utilizadas.

RTL-SDR

En la primera fase del proyecto se compró un dongle RTL-SDR con el fin de recibir los paquetes APRS y procesarlos a partir de ello. Estos dongles son relativamente

baratos oscilando entre los 30 y 100 euros, se conectan mediante usb al ordenador y tienen en la parte superior un conector SMA para conectar una antena. La peculiaridad de estos dispositivos reside en que son controlables mediante software y se pueden sintonizar en un rango de frecuencias muy amplio (24MHz a 1.7GHz).

Para hacer uso de estos dispositivos se ha de usar software como GQRX, CubicSDR o SDRSharp. Es posible también usar rtl-sdr en la terminal creando posteriormente un micrófono virtual para que el software de análisis pueda decodificar los paquetes.

Tras multitud de pruebas fallidas con distintos software de visualización y análisis y software de audio como Direwolf, se decidió no continuar por ese camino y probar otras alternativas como la que finalmente se ha implementado el **APRS-IS**

APRS-IS

APRS-IS es un sistema que permite la transmisión de mensajes APRS por la red de Internet. La ventaja que ofrece este sistema frente al de recopilar información mediante una antena es que APRS-IS, permite obtener un flujo de datos mucho mayor, ya que hay una gran cantidad de antenas y otra ventaja con la que cuenta es que no está restringido al área que puede recibir la pequeña antena rtl-sdr sino a todo el mundo.

Infraestructura de la red APRS-IS

Componentes principales:

- **Trackers o TNC:** Son los emisores de los paquetes APRS, suelen corresponder a estaciones fijas o móviles que envían por radio los paquetes con información de posición, velocidad, rumbo, etc.
- **Digipeaters:** Son estaciones que reciben los paquetes APRS y los retransmiten, permitiendo que los paquetes lleguen a una mayor distancia. Son análogos a los repetidores de internet.
- **I-Gates:** Son estaciones que reciben los paquetes APRS por radio y los envían a la red APRS-IS, permitiendo que los paquetes sean accesibles a través de internet.
- **Servidores APRS-IS:** Son servidores que reciben los paquetes APRS de los I-Gates y los almacenan en una base de datos, permitiendo que los clientes accedan a los paquetes a través de internet. Los servidores APRS-IS suelen estar distribuidos geográficamente para mejorar la disponibilidad y la redundancia.
- **Clientes APRS-IS:** Pueden ser otros servidores, aplicaciones web o aplicaciones móviles que acceden a los servidores APRS-IS para obtener los paquetes APRS y mostrarlos a los usuarios.

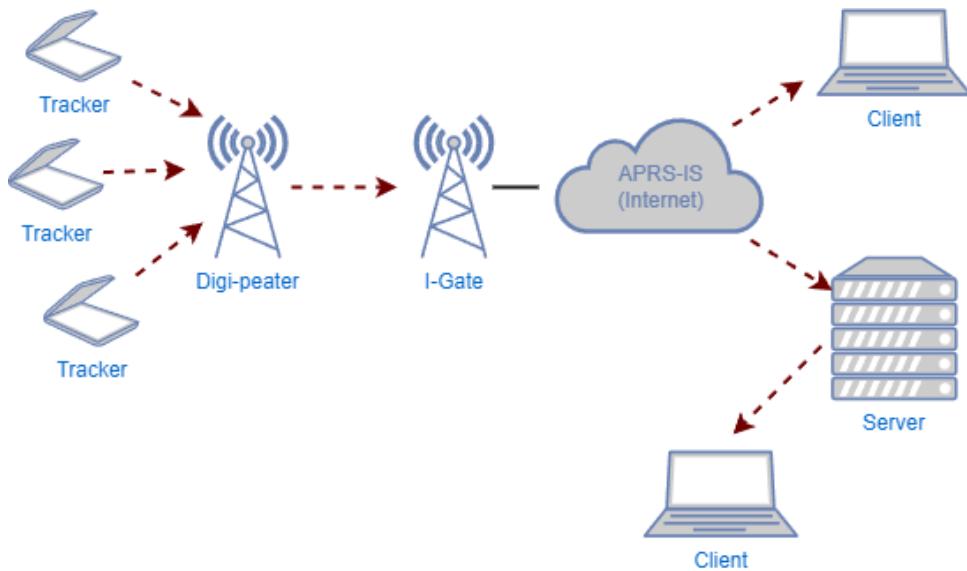


Figura 3.2: Infraestructura de la red APRS - APRS-IS (elaboración propia).

Se muestra el flujo de datos de la red APRS-IS en la Figure 3.2.

Se ha seleccionado APRS-IS como fuente de datos para la aplicación debido a su facilidad de uso, su disponibilidad y la gran cantidad de información que ofrece.

La trama APRS

El sistema APRS utiliza tramas AX.25 para la transmisión de datos a través de las ondas de radio. Estas tramas contienen información sobre posición, velocidad, dirección y otros datos emitidos por estaciones de radioaficionados, objetos móviles y estaciones fijas.

Formato de la Trama AX.25

Como se muestra en la Figure 3.3 se puede ver que .

Formato de trama-UI AX25									
Flag	Destino	Origen	Dirección de Digipeater (0-8)	Campo de control (UI)	ID de protocolo	Datos	FCS	Flag	
Bytes:	1	7	7	0 - 56	1	1	1 - 256	2	1

Figura 3.3: Formato de trama AX.25 (elaboración propia).

Contenido de la Trama

Dentro del campo de información de una trama AX.25, se pueden incluir diversos datos relevantes para APRS. Esto puede incluir información de posición (latitud y

longitud), velocidad, altitud, rumbo, comentarios del operador, mensajes de texto, etc.

NOCALL : **APRS**, **OH7RDA, OH7RDB** : **!4903N07201W-Test A=001234**

Origen	Destino	Digipeaters y I-Gates	Campo datos
---------------	----------------	------------------------------	--------------------

Uso en APRS

En el contexto de APRS, las tramas AX.25 se utilizan para transmitir actualizaciones de posición de estaciones móviles, estaciones meteorológicas, balizas y otros objetos de interés. Estas tramas son recibidas por otras estaciones en la red APRS, lo que permite el seguimiento en tiempo real de la ubicación y otros datos de interés.

Recepción de paquetes APRS

Para la recepción de paquetes APRS se ha utilizado la librería aprslib de Python. Esta librería permite conectarse a un servidor APRS-IS y recibir los paquetes APRS en tiempo real. Se ha creado un sistema que utilizando esta librería se conecta a un servidor APRS-IS, recibe los paquetes APRS y los guarda en un buffer en memoria. Cuando el buffer se llena con aproximadamente 10.000 mensajes en aproximadamente 15 segundos, se procede a escribir el buffer en un fichero comprimido en el disco duro SSD.

Una cosa curiosa es que los mensajes APRS no se decodifican en este punto, de hecho se guardan sin ningún tipo de procesamiento en ficheros binarios comprimidos en formato gzip para no ocupar mucho espacio en disco. Esto se hace así para evitar la sobrecarga de procesamiento en la Raspberry pi y para poder procesar los mensajes en un servidor más potente en la nube.

Es importante mencionar que el sistema de recepción de paquetes APRS se ejecuta en segundo plano en modo demonio utilizando el gestor de procesos Supervisord, lo que garantiza que el sistema se mantenga en funcionamiento incluso en caso de fallos o reinicios del sistema.

Procesado de paquetes APRS

En esta sección se describirá con detalle el módulo de procesado de paquetes APRS de la aplicación, incluyendo la arquitectura, los componentes y las tecnologías utilizadas.

Subida de ficheros a AWS S3

Una vez los ficheros se han guardado en el disco duro SSD, se procede a subirlos a un Bucket S3 en AWS. Para ello se ha utilizado la librería boto3 de Python, que

permite interactuar con los servicios de AWS desde Python. Se ha creado un script que se ejecuta una vez al día mediante la orquestación de Apache Airflow y que sube los ficheros comprimidos al bucket S3. Una vez subidos los ficheros, se eliminan del disco duro SSD para liberar espacio. Cuando un fichero se sube a S3 se desencadena un evento

Procesado de paquetes APRS en AWS lambda

Una vez los ficheros se han subido a S3, se desencadena un evento que ejecuta una función lambda en AWS. Esta función lambda se encarga de descomprimir el fichero, procesar los mensajes APRS y convertirlos en formato JSON.

Por defecto lambda no puede hacer uso de librerías de terceros por lo que se ha tenido que encapsular la librería aprslib en un fichero .zip, subirlo a lambda y establecerlo como una capa de lambda para poder hacer uso de ella. Para la descompresión de los ficheros se ha utilizado la librería gzip de Python, que permite leer y escribir ficheros comprimidos en formato gzip. Para el procesado de los mensajes APRS se ha utilizado la librería aprslib de Python como ya hemos mencionado, que permite decodificar los mensajes APRS y extraer información útil como la posición, velocidad y rumbo de los objetos rastreados en formato clave-valor.

Esta función lambda se ejecuta de manera asíncrona y paralela, lo que permite procesar grandes volúmenes de mensajes APRS de manera eficiente y escalable. Una vez procesados los mensajes APRS, se eliminan los ficheros comprimidos del S3 de entrada (aprsinput) para liberar espacio y evitar duplicados. Finalmente los mensajes procesados se guardan en un Bucket S3 de salida (aprsoutput) en formato JSON para su posterior descarga. La descarga de los ficheros JSON ocurre una vez al día mediante la orquestación de Apache Airflow y la librería boto3. Estos ficheros (uno por fichero de entrada) se descargan a otra carpeta temporal en la Raspberry pi.

Almacenamiento de paquetes APRS en la base de datos

Una vez los ficheros JSON ya procesados se han descargado al directorio temporal en la Raspberry pi, se procede a almacenarlos en la base de datos PostgreSQL. Para ello se ha utilizado la librería SQLAlchemy de Python, que permite interactuar con bases de datos relacionales de manera sencilla y eficiente. Se ha creado un script que se ejecuta una vez al día mediante la orquestación de Apache Airflow y que lee los ficheros JSON, procesa los mensajes APRS y los almacena en la base de datos. Este paso esconde un gran problema que hubo de ser solucionado. El script en un principio seguía los siguientes pasos.

1. **Lectura de ficheros JSON:** El script lee los ficheros JSON de la carpeta local /tmp descargados del bucket S3.
2. **Extracción de la estación:** El script extrae la estación origen y destino de cada mensaje y en caso de no existir en la base de datos las crea.

3. **Extracción de las posiciones:** Se extraen las posiciones (si las hay) de cada mensaje y el timestamp si lo hay y se almacenan en la base de datos.
4. **Identificación del país:** Mediante la librería geopy y ficheros de formas de países se identifica el país de la estación.
5. **Extracción de los mensajes:** Se extraen los mensajes de cada línea del JSON y se almacenan en la base de datos.

Este enfoque resultó tener varios problemas. El primero y más importante era el de rendimiento, ya que cada archivo JSON contenía alrededor de 10000 mensajes y en la creación de los objetos, inserciones en la BD y detección del país se tardaba alrededor de 40 segundos por fichero JSON. Esto aunque no parezca demasiado tiempo, si se tiene en cuenta que la cantidad de mensajes APRS que se reciben en 40 segundos es alrededor de 45000 mensajes, se puede ver que el sistema no era escalable.

Optimizaciones

Para solucionar este problema se realizaron las siguientes optimizaciones:

- **Uso de sets:** Se ha cambiado el uso de consultas a la BD por sets en la creación de las estaciones para acelerar la comprobación la existencia de una estación en la base de datos.
- **Batch Insert:** Se ha modificado la interfaz con Sqlalchemy para permitir inserciones en lotes de 250 mensajes.
- **Detección de países con geopandas:** Se ha cambiado la librería geopy por geopandas que permite la detección de países de manera mucho más rápida utilizando paralelización.

Estas optimizaciones han permitido que el tiempo de procesado de un fichero JSON haya pasado de 40 segundos a unos 2 segundos, lo que ha permitido que el sistema sea escalable y pueda procesar grandes volúmenes de mensajes APRS de manera eficiente.

Base de datos

Como se ha mencionado previamente, se ha elegido PostgreSQL como sistema de gestión de bases de datos para la aplicación. Esta elección se ha basado en la robustez, la fiabilidad y la capacidad de manejar grandes volúmenes de datos que ofrece PostgreSQL incluso en sistemas con recursos reducidos. La base de datos se ha diseñado siguiendo un modelo relacional Figure 3.4 que permite almacenar y relacionar la información de los mensajes APRS de manera eficiente, el modelo cuenta con las siguientes tablas.

- **stations:** Almacena la información de las estaciones APRS, incluyendo el identificador (CALLSIGN), el ssid y su símbolo.

- **station_locations:** Almacena la información de las posiciones ¹ de las estaciones APRS, incluyendo el país, la latitud, la longitud y la fecha y hora en la que se han recibido.
- **messages:** Almacena la información de los mensajes APRS, incluyendo el contenido del mensaje, el tipo de mensaje y el timestamp.
- **qrz_profiles:** Sirve como una caché que almacena la información de los perfiles de los usuarios de QRZ, incluyendo el identificador (CALLSIGN), el nombre, la dirección, la ciudad, el estado, el código postal, el país, la latitud, la longitud y la fecha de nacimiento entre muchos otros.

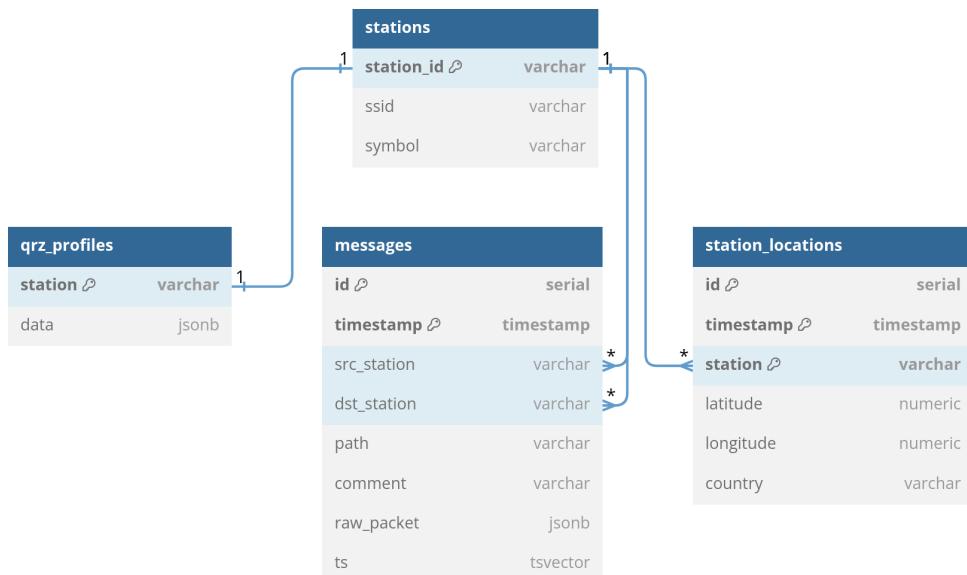


Figura 3.4: Estructura de la base de datos (elaboración propia).

3.4. Visualización y Presentación de datos

En esta sección se describirá con detalle el módulo de visualización y presentación de datos de la aplicación, incluyendo la arquitectura, los componentes y las tecnologías utilizadas.

Dash

Dash es un framework de Python creado por Plotly para la creación de aplicaciones web interactivas y visualizaciones de datos. Dash permite crear aplicaciones web interactivas y visualizaciones de datos atractivas utilizando Python como lenguaje de programación. Dash está escrito encima de Plotly.js, React y Flask lo que permite una gran capacidad de personalización.

¹Esta tabla tiene un campo id en la clave primaria por si una estación ha emitido un mensaje sin timestamp

Dash ofrece una versión de pago llamada Dash Enterprise que ofrece una gran cantidad de funcionalidades para elaborar aplicaciones web de manera más rápida y sencilla. Sin embargo, para este proyecto se ha utilizado la versión gratuita de Dash, con algunas librerías adicionales entre las que se encuentran:

- **Dash Core Components:** Ofrece una amplia gama de componentes interactivos como gráficos, tablas, sliders, dropdowns, entre otros, que permiten a los usuarios interactuar con los datos de manera intuitiva.
- **Dash HTML Components:** Ofrece una amplia gama de componentes HTML como divs, spans, inputs, entre otros, que permiten personalizar la apariencia y el diseño de la aplicación web.
- **Dash Mantine Components:** Ofrece una amplia gama de componentes de Mantine como navbars, tarjetas, modales, entre otros, que permiten crear aplicaciones web atractivas y responsivas.
- **Dash Express:** Ofrece componentes extra como un panel de filtrado y una barra de navegación.²
- **Plotly Express:** Es el principal competidor de matplotlib en el mundo de la visualización de datos en Python. Ofrece una gran cantidad de gráficos y visualizaciones de datos interactivos.

Diseño

El diseño de la aplicación web se ha basado en la simplicidad, la usabilidad y la accesibilidad. El primer diseño del proyecto se realizó en la aplicación de prototipado Figma como se muestra en la Figure 3.5.

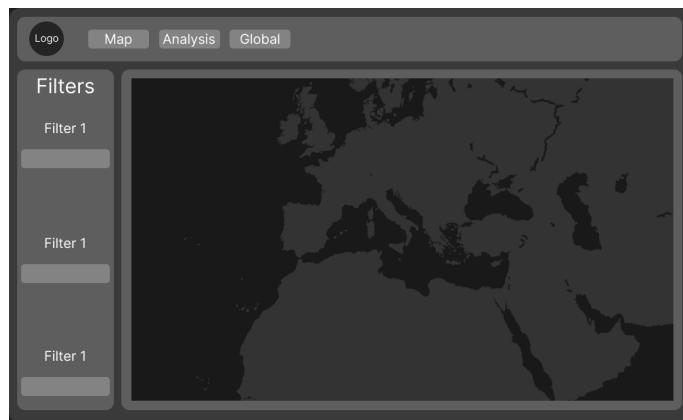


Figura 3.5: Primer diseño de la aplicación web en Figma (elaboración propia).

Este diseño se ha ido modificando y adaptando a lo largo del desarrollo del proyecto para mejorar la usabilidad y la experiencia del usuario. Este diseño muestra la pantalla principal de la aplicación, que incluye un mapa con las estaciones APRS, y un panel de control con filtros y opciones de visualización.

²Esta librería se ha modificado para adaptarla a las necesidades del proyecto.

Home - Primera pantalla

En esta sección se describirá la primera pantalla de la aplicación web, que muestra un mapa con las estaciones APRS y un panel de control con filtros y opciones de visualización.

Obtención de datos

Siguiendo la estrategia de otros sistemas de dashboarding como PowerBI o Tableau y con el objetivo de mejorar la eficiencia y la escalabilidad del sistema, se ha optado por eliminar en lo posible las consultas a la base de datos en tiempo real. Para ello se ha creado un sistema de caché que almacena los datos a representar en esta pantalla en un archivo de rápida lectura que es actualizado diariamente mediante Apache Airflow. Este sistema de caché permite reducir la carga en la base de datos y mejorar el rendimiento de la aplicación web.

El sistema de caché se ha implementado utilizando la librería Pandas de Python, usando un fichero .feather para almacenar los datos en formato binario y comprimido y reducir dramáticamente³ el tiempo de carga de la página.

Mapa de estaciones APRS

El mapa de estaciones APRS muestra la posición de cada una de las estaciones APRS, representadas por un marcador en el mapa. Es un mapa interactivo que permite hacer zoom, desplazarse y al posicionar el cursor encima de una estación aparecerá un recuadro ofreciendo información adicional.

Esta página hace uso de la librería Plotly para renderizar el mapa y del servicio web de mapas Mapbox para obtener los mapas y estilos de mapa.

Filtros

El panel de control de la aplicación web incluye una serie de filtros y opciones de visualización que permiten al usuario personalizar la información mostrada en el mapa. La ventaja de estos filtros es que son aditivos y se pueden combinar para obtener con exactitud la información requerida. Los filtros disponibles son:

- **Filtro por Rango de Fechas:** Permite filtrar las estaciones APRS por rango de fechas, mostrando solo las estaciones de las que se ha recibido algún mensaje en el rango de fechas seleccionado.
- **Filtro por País:** Permite filtrar las estaciones APRS por país, mostrando solo las estaciones que se encuentran en el país seleccionado.

³Los ficheros de tipo .feather son hasta 100 veces más rápidos que los ficheros .csv

- **Filtro por contenido del mensaje:** Este es quizás el filtro más interesante, ya que permite filtrar las estaciones por el contenido del mensaje, este filtro será explicado más adelante.
- **Filtro por Tipo de Estación:** Permite filtrar las estaciones APRS por tipo, mostrando solo las estaciones que corresponden al tipo seleccionado.
- **Filtro por ssid:** Permite filtrar las estaciones por ssid.

Búsqueda difusa en contenido de mensajes

Este filtro es personalmente el más interesante de todos los filtros disponibles. El objetivo es permitir al usuario buscar mensajes emitidos por las estaciones que contengan una palabra o frase específica. Para ello se han probado varias alternativas como el uso de expresiones regulares o una implementación en Python puro. El problema de estas opciones es que son muy lentas para el enorme volumen de datos con el que se cuenta y al ser dinámico no era factible realizar esa búsqueda en tiempo real.

Finalmente se ha optado por el uso de Postgresql FTS (Full Text Search). Postgres FTS es un sistema de búsqueda de texto completo que permite realizar búsquedas de texto en grandes volúmenes de datos de manera eficiente. Las ventajas que ofrece este sistema son:

- **Rendimiento:** Todo el proceso de búsqueda se realiza en la base de datos, lo que permite realizar búsquedas de texto sin transferir todos los mensajes al servidor para su búsqueda.
- **Búsqueda difusa:** Permite realizar búsquedas de texto difuso, lo que significa que se pueden buscar palabras o frases que contengan errores tipográficos o que no coincidan exactamente con el texto buscado.
- **Indexación:** Postgresql FTS indexa automáticamente los mensajes de texto, lo que permite realizar búsquedas de texto de manera eficiente incluso en grandes volúmenes de datos.

Se ha creado un índice de texto completo en la columna de mensajes de la tabla de mensajes y se ha utilizado la función `to_tsvector` para convertir los mensajes en un vector de texto completo. Posteriormente se ha utilizado la función `plainto_tsquery` para convertir la palabra o frase de búsqueda en una consulta de texto completo y finalmente se ha utilizado la función `ts_query` para realizar la búsqueda de texto completo en la columna de mensajes. Este filtro permite al usuario buscar mensajes emitidos por las estaciones que contengan una palabra o frase específica, lo que facilita la identificación y el análisis de los mensajes relevantes. Cuando un usuario realiza una búsqueda de texto completo, se muestra un modal con la lista de todos los mensajes que contienen la palabra o frase de búsqueda, ordenados por relevancia haciendo uso de la función `ts_rank`. Otra funcionalidad interesante es que las palabras buscadas se resaltan en el mensaje para facilitar su identificación como se muestra en la Figure 3.6.

Station	Comment
K4SRC	Jay Hospital Emergency
K4SRC	Santa Rosa Hospital Emergency
K4SRC	Jay Hospital Emergency

Close

Figura 3.6: Resultados de la búsqueda de «emergency hospital» (elaboración propia).

En el modal se muestra una tabla de dos columnas, la columna izquierda contiene un botón con el nombre de la estación y la columna derecha el contenido del mensaje.

Station - Segunda pantalla

Esta es la página que hace única a APRSINT. En esta página se muestra la información detallada de una estación APRS en concreto. Se puede llegar a esta pantalla desde la página principal haciendo clic en un marcador de una estación en el mapa, haciendo clic en una estación en la búsqueda en los mensajes o haciendo clic en un nodo del grafo de la página 3. La pantalla station está dividida en tres secciones.

Información de QRZ

QRZ es una base de datos de radioaficionados que contiene información detallada sobre los radioaficionados de todo el mundo. Para acceder a la información disponible en la web de QRZ ⁴ es necesario tener una cuenta y estar registrado. QRZ cuenta con un servicio de API que permite acceder a la información de los radioaficionados de manera programática.

Para obtener la información de los radioaficionados se ha utilizado la librería requests de Python, que permite obtener la información necesaria de QRZ.

Con el fin de acelerar las consultas, se ha implementado una tabla en la base de datos para almacenar en caché las solicitudes, lo que disminuye la cantidad de consultas a una estación determinada si esta ya ha sido solicitada con anterioridad.

Este módulo es de los más complejos de la aplicación, pero a su vez de los más útiles, ya que permite al usuario obtener información muy detallada de una estación

⁴qrz.com

APRS en concreto y de la persona que está detrás. Algunos de los datos que se pueden obtener son:

- Nombre de la persona registrada
- Fechas de registro y última actualización en la web
- Alias conocidos de la estación
- Dirección de la persona registrada (Como link a google maps)
- Fecha de nacimiento de la persona registrada

Información de posiciones

Esta sección se compone de dos partes. En la parte superior se muestra un mapa con todas las posiciones reportadas por la estación, se muestra también la caja delimitadora de todas las posiciones.

En la parte inferior se muestran estadísticas de las posiciones reportadas por la estación como la frecuencia media de emisión, la primera y última emisión recibida y por cada mensaje emitido por la estación se muestra el número de repeticiones del mensaje y las urls (si existen) encontradas en los mensajes.

Información de mensajes

Finalmente encontramos la sección de mensajes. En esta sección se muestra una tabla en la que se muestra la información de los mensajes emitidos por la estación. La tabla se compone de las siguientes columnas:

- La fecha de emisión del mensaje.
- La latitud y longitud de la estación en el momento de la emisión.
- El país en el que se encontraba la estación en el momento de la emisión.
- La estación destino del mensaje.
- El *path* es decir los digipeaters que han retransmitido el mensaje.
- El contenido del mensaje.

La tabla es interactiva y permite al usuario filtrar los mensajes por el intervalo de fechas que pretenda.

Graph - Tercera pantalla

Esta pantalla es la última de la web, en ella se muestra un grafo dirigido en el que los nodos son las estaciones y las aristas dirigidas, mensajes como se muestra en la Figure 3.7. El grafo es interactivo y permite hacer zoom, desplazarse y al posicionar

el cursor encima de un nodo o arista aparecerá un recuadro ofreciendo información adicional. El color y tamaño de los nodos depende de la cantidad de mensajes que ha emitido o recibido la estación y de misma manera el color y tamaño de las aristas depende de la cantidad de mensajes que se han emitido o recibido desde la estación origen y destino.

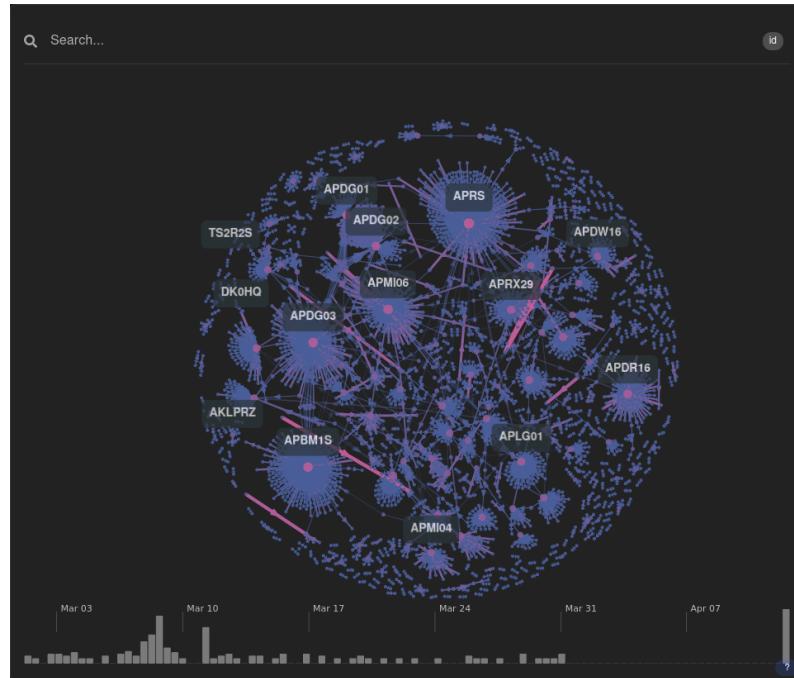


Figura 3.7: Grafo de estaciones APRS (elaboración propia).

Las características que se buscaban en la solución final eran:

- **Interactividad:** Se buscaba un grafo interactivo que permitiera al usuario explorar las relaciones entre las estaciones APRS.
- **Rendimiento:** Quizás la característica más importante, el grafo debía ser capaz de mostrar una gran cantidad de estaciones y conexiones sin afectar al rendimiento de la aplicación.
- **Personalización:** Se buscaba un grafo que permitiera personalizar la apariencia y el comportamiento de los nodos y aristas según las características de cada estación y mensaje.

Para alcanzar la solución final que se presenta ahora en la página, se han probado muchas opciones que se han ido descartando por diferentes motivos.

Alternativas probadas

En un primer momento se intentó utilizar la librería **networkx** de Python para la creación del grafo, sin embargo, se descartó debido a su rendimiento y a su falta de interactividad. Posteriormente se intentó utilizar la librería **Cytoscape** que es

la solución por defecto que ofrece Dash, esta ofrece una gran cantidad de funcionalidades para la creación de grafos interactivos, sin embargo, se descartó de nuevo debido a su pobre rendimiento.

Una de las alternativas que también se probó fue la librería **Sigma JS** que ofrece una gran cantidad de funcionalidades y personalización para la creación de grafos interactivos. Esta librería cuenta con una funcionalidad interesante *forceAtlas2* que permite calcular mediante una simulación de fuerzas la posición de los nodos y aristas en el grafo. Sin embargo, de nuevo se descartó debido a su rendimiento con una gran cantidad de nodos y aristas.

Finalmente se optó por la librería **Cosmograph JS**. Cosmograph utiliza la librería *cosmos* de cálculo de posiciones mediante la GPU y por tanto puede manejar un gran número de nodos y aristas.

El grafo

El problema principal con Cosmograph ha sido la falta de documentación debido a que es bastante nueva y la dificultad de integrarla con Dash. Esta librería está publicada en npm (el repositorio de librerías de JavaScript) y se ha tenido que utilizar *bundle.js* para convertir el código de JavaScript en un solo fichero que se pueda importar en Dash. Ha sido necesario modificar ligeramente la librería para terminar de integrarla con Dash.

Se han utilizado tres componentes de Cosmograph JS para la creación del grafo, el componente *Cosmograph* que crea el grafo, el componente *CosmographSearch* que permite mediante una barra de búsqueda encontrar una estación y el componente *CosmographTimeline* que permite filtrar el grafo por rango de fechas.

Para mejorar el rendimiento general de la web se ha utilizado la técnica de lazy-loading, que consiste en cargar los componentes del grafo solo cuando el usuario presiona el botón *Load graph*. En el momento que el usuario presiona el botón, se activa un callback de cliente de Dash. El callback primero lee los datos del grafo de un fichero CSV que se actualiza diariamente mediante Apache Airflow. Posteriormente se crean los nodos y las aristas y se inicializa el grafo, la barra de búsqueda y la barra de tiempo. Seguidamente se establecen los parámetros de la simulación de fuerzas y se inicia la simulación. Por último se establecen las propiedades visuales y funcionales de los nodos y aristas.

Cuando el usuario arrastra el cursor sobre un nodo, se muestra un recuadro con el nombre de la estación. Cuando el usuario hace clic en un nodo, se le redirige a la página **station** de la estación seleccionada.

3.5. Orquestación

En esta sección se describirá con detalle la metodología de orquestación de tareas y flujos de trabajo de la aplicación que se han ido comentando a lo largo del capítulo.

Supervisord

Supervisord es un sistema de control de procesos para sistemas operativos tipo Unix, diseñado para iniciar, detener y gestionar procesos de manera sencilla y robusta.

Se ha utilizado Supervisord como gestor de procesos para ejecutar en modo demonio como se ha mencionado previamente el sistema de recepción de paquetes APRS. Se ha establecido en la configuración de Supervisord que el sistema de recepción de paquetes se ejecute en el arranque del sistema y siempre después de que la interfaz de red esté disponible. En caso de fallo del sistema de recepción, Supervisord reiniciará el sistema y registrará la causa del fallo.

3.6. Apache Airflow

Apache Airflow es una plataforma de orquestación de tareas y flujos de trabajo. Es similar a Cron de Unix, pero permite al usuario una mayor personalización y un mayor control sobre las tareas que controla. La unidad de ejecución en Apache Airflow es el DAG (Directed Acyclic Graph). Las tareas se definen en archivos individuales y al igual que en otros sistemas se pueden definir dependencias entre tareas.

Apache Airflow se ha utilizado para orquestar todas las tareas que permiten que APRSINT funcione correctamente se presenta en la Table 3.1 la lista de los DAG's que se ejecutan diariamente.

Hora de ejecución	DAG	Descripción
3:00 am	upload_files	Sube todos los archivos al S3 aprsinput
5:00 am	download_files	Descarga todos los archivos a la carpeta local
7:00 am	insert_database	Inserta todos los mensajes en la BBDD
9:00 am	cache_data	Precalcula en archivos los datos para la web

Tabla 3.1: Esquema de orquestaciÓn con Apache Airflow.

Por defecto Apache Airflow utiliza una base de datos SQLite para almacenar los metadatos de las tareas y los flujos de trabajo. Sin embargo, para este proyecto se ha optado por utilizar una base de datos PostgreSQL para almacenar los metadatos de Apache Airflow. Esto se ha hecho para mejorar la escalabilidad y sobre todo la fiabilidad del sistema.

Se ha creado también un usuario en la base de datos de PostgreSQL con permisos de lectura y escritura para Apache Airflow. Se ha configurado Apache Airflow para que utilice esta base de datos y este usuario en el archivo de configuración de Apache Airflow.

Otra configuración importante que se ha realizado en Apache Airflow es el cambio del ejecutor por defecto de SequentialExecutor a LocalExecutor. El ejecutor por defecto de Apache Airflow es SequentialExecutor, que ejecuta las tareas de manera secuencial en un solo hilo. Sin embargo, no se recomienda el uso de este ejecutor por lo que para mejorar el rendimiento y la escalabilidad del sistema se ha optado por utilizar LocalExecutor, que ejecuta las tareas de manera paralela en varios hilos.

Se presenta en la Figure 3.8 la interfaz de Apache Airflow con los DAG's que se ejecutan diariamente.

DAG	Owner	Runs	Schedule	Last Run	Next Run	Recent Tasks	Actions	Links
cache_data	AprsInt	36	0 9 * * *	2024-05-09, 09:00:00	2024-05-10, 09:00:00	36	[Actions]	[Links]
db_insert	AprsInt	36	0 7 * * *	2024-03-09, 07:00:00	2024-05-10, 07:00:00	36	[Actions]	[Links]
s3_download	AprsInt	36	0 5 * * *	2024-05-09, 05:00:00	2024-05-10, 05:00:00	36	[Actions]	[Links]
s3_upload	AprsInt	36	0 3 * * *	2024-05-09, 03:00:00	2024-05-10, 03:00:00	36	[Actions]	[Links]

Showing 1-4 of 4 DAGs

Version: v2.8.1
Git Version: .release:c0ffa9c5d96625c68ded9562632674ed366b5eb3

Figura 3.8: Interfaz de Apache Airflow (elaboración propia).

3.7. Alojamiento

Para alojar tanto la aplicación web como el sistema de recepción de paquetes y la base de datos de APRSINT se ha optado por utilizar una Raspberry Pi 4 conectada a un internet residencial.

Para evitar los problemas que suponen las direcciones dinámicas se ha decidido por utilizar el servicio de DNS dinámico de no-ip que permite asignar un nombre de dominio a una dirección IP dinámica. Este sistema se ha configurado en el router de modo que cuando la dirección ip cambia, el router notifica a no-ip y este actualiza el registro DNS asociado a la ip antigua por la nueva dirección.

Se ha configurado también la redirección de puertos en el router para permitir el acceso a la Raspberry Pi desde el exterior. Los servidores que se encuentran actualmente en la Raspberry Pi son:

- **Servidor Web:** Se ha configurado un servidor web Nginx para servir la aplicación web de APRSINT.
- **Base de Datos:** Se ha configurado un servidor PostgreSQL para almacenar los metadatos de Apache Airflow y los datos de los mensajes APRS.
- **Apache Airflow:** Se ha configurado un servidor Apache Airflow para orquestar las tareas y flujos de trabajo de APRSINT.
- **Servidor SSH:** Se ha configurado un servidor SSH para permitir el acceso remoto a la Raspberry Pi y realizar todo el desarrollo.

Servidor Web

En esta sección se describe la arquitectura del servidor web que aloja la aplicación Dash utilizando Flask como backend, junto con Gunicorn y Nginx como reverse proxy.

Flask

Flask es un framework web ligero para Python que proporciona herramientas para crear aplicaciones web de forma rápida y sencilla. En esta aplicación, Flask se utiliza como el framework backend para la aplicación de Dash. Proporciona las rutas y la lógica de negocio necesarias para la aplicación.

Gunicorn

Gunicorn es un servidor HTTP WSGI (Web Server Gateway Interface) para Python. Se utiliza para servir la aplicación Flask de forma eficiente y escalable. Gunicorn gestiona múltiples procesos de forma paralela, lo que mejora el rendimiento de la aplicación. Para APRSINT se ha configurado Gunicorn para ejecutar la aplicación Flask en modo demonio y con 4 procesos de trabajo. Gunicorn crea un socket UNIX en el que escucha las solicitudes HTTP y las reenvía a la aplicación Flask para su procesamiento.

Nginx

Nginx es un servidor web de código abierto que en este caso se ha utilizado como proxy inverso. Actúa como intermediario entre los clientes y el servidor Flask/Gunicorn. Nginx se encarga de recibir las solicitudes HTTP, dirigirlas al servidor Gunicorn y devolver las respuestas a los clientes. Nginx maneja tareas como el balanceo de carga, el almacenamiento en caché la compresión de archivos y la seguridad.

El diagrama de la arquitectura del servidor web se muestra en la Figure 3.9. Como se puede observar, la solicitud HTTP del cliente pasa a través de Nginx, que

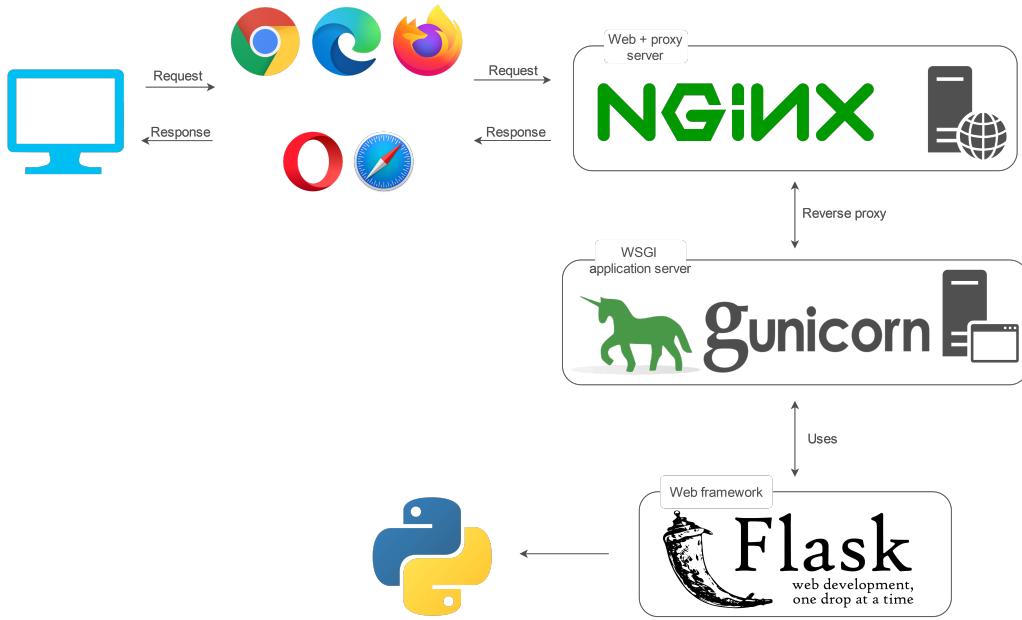


Figura 3.9: Arquitectura del servidor web de APRSINT (elaboración propia).

actúa como un proxy inverso y la reenvía a Gunicorn, donde se ejecuta la aplicación Flask. Una vez que Flask procesa la solicitud, la respuesta se envía de vuelta al cliente a través de Nginx.

Flujo de una petición HTTP

A continuación se describe cómo se maneja una solicitud HTTP desde se recibe en Nginx hasta que se envía la respuesta de vuelta al cliente. A continuación se detalla el proceso paso a paso:

1. Un usuario busca en su navegador la aplicación web de APRSint.
2. La solicitud llega al servidor Nginx, que actúa como el servidor frontal.
3. Nginx examina la solicitud y determina que está destinada a la aplicación Dash, por lo que la reenvía al servidor Gunicorn.
4. Gunicorn recibe la solicitud y la asigna a uno de sus 4 procesos de Flask para su procesamiento.
5. La aplicación Flask ejecuta la lógica correspondiente a la solicitud, que incluyen el acceso a la base de datos, y la generación del contenido de la página.
6. Una vez que la lógica de la aplicación Flask se ha completado, se genera una respuesta.
7. La respuesta se envía de vuelta a Gunicorn, que la reenvía a Nginx.

8. Nginx recibe la respuesta y la devuelve al cliente que realizó la solicitud original.

Este proceso asegura que las solicitudes sean manejadas de manera eficiente y escalable, garantizando una experiencia de navegación más fluida.

Protección ante ataques

Para todo el desarrollo de la aplicación se ha utilizado el protocolo ssh. Se han ampliado las medidas de seguridad de la raspberry pi mediante la creación de un usuario no root. Se ha cambiado el puerto de ssh por defecto y se ha desactivado el acceso por contraseña. Se ha instalado **fail2ban** para protegerse de ataques de fuerza bruta y se ha instalado un firewall **UFW** para bloquear el acceso a los puertos no utilizados.

Capítulo 4

Conclusiones y Trabajo Futuro

Conclusiones del trabajo y líneas de trabajo futuro.

Antes de la entrega de actas de cada convocatoria, en el plazo que se indica en el calendario de los trabajos de fin de grado, el estudiante entregará en el Campus Virtual la versión final de la memoria en PDF.

Introduction

“Negar un hecho es lo más fácil del mundo. Mucha gente lo hace, pero el hecho sigue siendo un hecho.”
— Isaac Asimov

4.1. ¿Qué es APRS?

APRS or Automatic Packet Reporting System (APRS) is a real-time digital communications system that allows the exchange of information between amateur radio stations.

In general, APRS is used for vehicle tracking, transmission of text messages, dissemination of weather information and communication in emergency situations, although due to the flexibility of the protocol it can be used in any other situation.



Figure 4.1: APRS logo.

4.2. Main APRS features

APRS has several features that make it useful and versatile in the field of amateur radio communication, among which are the following:

- **Working frequency:** APRS operates in the VHF band, specifically on the 144.80 MHz frequency in Europe, although other regions of the world use different frequencies as shown in the figure below. Figure 4.2.
- **Transmission mode:** APRS uses as a transmission mode individual packets that have to follow an established format, which greatly facilitates the adoption and integration of this technology.
- **Aprs retransmission policy:** In the APRS system, a packet of information is transmitted multiple times, gradually decreasing the emission frequency of these transmissions as time progresses. This method aims to maximize the packet reception rate.

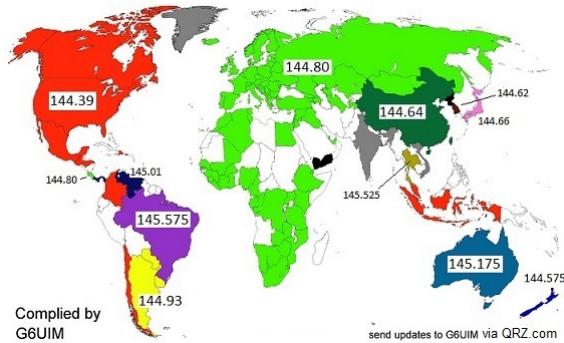


Figure 4.2: Aprs emission frequency around the globe.

4.3. Main APRS applications

- **GPS position reports:** APRS allows users to send their geographic location in the form of coordinates, obtained through GPS systems, which facilitates the tracking of vehicles or people in real time.
- **Weather data:** Weather stations often use APRS messages to report different data such as temperature, humidity or barometric pressure, including updated and useful information for various applications.
- **Internet integration:** Through the APRS-IS system, APRS messages are accessible over the Internet through different nodes, extending the reach and scope of this system.
- **Uso en Emergencias:** In emergency situations, APRS is a vital tool for broadcast communication and tracking of resources and personnel.

4.4. History and Development of APRS

The APRS system was born in the 1980s by Bob Bruninga, an engineer working at the U.S. Naval Academy. Bruninga created the first implementation of APRS on an Apple II computer in 1982 for the purpose of mapping Navy position reports on the high seas.¹

The first real use of APRS was in 1984, when Bruninga developed a more advanced version on a VIC-20 to report the position and status of horses in an endurance race.

Over the next few years, Bruninga continued to refine the system, which he later dubbed the Connectionless Emergency Traffic System (CETS).

After a series of Federal Emergency Management Agency (FEMA) exercises using CETS, the system was moved to the IGM Pc. During the 1990s, CETS (now known

¹<http://www.aprs.org/APRS-docs/ARTICLES.TXT>

as the Automatic Position Reporting System) continued to evolve.

As GPS technology became more widely available, the term “Positioning” was replaced by “Package” to better represent the broader capabilities of the system and emphasize its uses beyond mere position reporting.



Figure 4.3: Bob Bruninga (creator of the APRS system).

Conclusions and Future Work

Conclusions and future lines of work. This chapter contains the translation of Chapter 4.

Bibliografía

*Y así, del mucho leer y del poco dormir, se
le secó el celebro de manera que vino a
perder el juicio.*

(modificar en Cascaras\bibliografia.tex)

Miguel de Cervantes Saavedra

Capítulo A

Título del Apéndice A

Los apéndices son secciones al final del documento en las que se agrega texto con el objetivo de ampliar los contenidos del documento principal.

Capítulo B

Título del Apéndice B

Se pueden añadir los apéndices que se consideren oportunos.

Este texto se puede encontrar en el fichero Cascaras/fin.tex. Si deseas eliminarlo, basta con comentar la línea correspondiente al final del fichero TFGTeXiS.tex.

*-¿Qué te parece desto, Sancho? – Dijo Don Quijote –
Bien podrán los encantadores quitarme la ventura,
pero el esfuerzo y el ánimo, será imposible.*

*Segunda parte del Ingenioso Caballero
Don Quijote de la Mancha
Miguel de Cervantes*

*-Buena está – dijo Sancho –; fírmela vuestra merced.
–No es menester firmarla – dijo Don Quijote–,
sino solamente poner mi rúbrica.*

*Primera parte del Ingenioso Caballero
Don Quijote de la Mancha
Miguel de Cervantes*

