



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Sistema de seguimiento y evaluación de alumnos en el área de
topografía mediante una red inalámbrica LoRaWAN*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Jesús María Tellado Moreno.

DIRECTOR: José María Núñez Ortuño

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Sistema de seguimiento y evaluación de alumnos en el área de
topografía mediante una red inalámbrica LoRaWAN*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

Este trabajo surge de la necesidad de la Escuela Naval Militar de disponer de un sistema de seguimiento y evaluación de los recorridos topográficos, encuadrados dentro del área de evaluación de Topografía, que realizan los alumnos de Infantería de Marina durante sus prácticas de campo.

Para ello, en la actualidad, hay gran variedad de dispositivos de localización que podrían solventar parte de este problema, sin embargo, la mayoría requieren de un gasto periódico aparte del gasto inicial de adquisición. Además, estos suelen tener una gran dependencia a redes externas que pueden llegar a ser una limitación en las zonas dónde típicamente se desarrollan los ejercicios.

El sistema que se propone tiene como objetivo dar una solución basada en la tecnología LoRaWAN, consolidada como una tecnología abierta al mercado, la cual cuenta con dispositivos de geolocalización económicos, sin necesidad de subscripción, con un alcance medio y gran autonomía. Para ello, se desarrolla a lo largo del proyecto un diseño que, amoldado a las características inherentes de los recorridos topográficos, proporcione de una herramienta eficaz y fiable al profesorado para la evaluación del alumnado. Para este fin, se ha utilizado una red inalámbrica, que emplea un dispositivo pasarela que recoge la información de una serie de nodos móviles dotados con capacidad de posicionamiento GPS. Finalmente, la información recopilada por los distintos nodos se presenta mediante diferentes herramientas gráficas.

PALABRAS CLAVE

LoRaWAN, Dragino, Localizador GPS, Topografía, Red inalámbrica mallada

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quisiera mostrar mi más sincero agradecimiento a mi tutor del TFG, Don José María Núñez Ortuño, por guiarme a lo largo del proyecto y que sin sus conocimientos no hubiera sido posible llevarlo a cabo.

A mi familia, especialmente a mis padres, Jose Luis Tellado Rodriguez y Encarnación Moreno Peña. Por su apoyo incondicional durante todos estos años fuera de casa en los que de igual manera han sido un pilar fundamental para mí. Y también por cada uno de sus consejos que, aunque crean en tantas ocasiones que no los escucho, siempre los tengo presentes. Sin ellos, todos estos años hubieran sido mucho más complicados.

A Carmen María, por ese día a día aguantándome, y sobre todo en aquellos momentos cuando el ánimo no acompaña, siempre intentando hacerme ver las cosas con otra sensibilidad.

A la promoción 422-152, porque la vida no me ha podido regalar mejores hermanos de armas.

A mis amigos Ramiro y Santi, por sus aportaciones a lo largo del proyecto que me facilitaron las diferentes pruebas realizadas.

A todos, muchas gracias.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	7
1.1 Necesidad militar de seguimiento de tropas	7
1.2 Motivación de la necesidad	8
1.3 Objetivo del TFG	8
1.4 Organización de la memoria	8
2 Estado del arte	11
2.1 Soluciones similares existentes	11
2.1.1 Sistema de posicionamiento global	11
2.1.2 Soluciones militares similares	13
2.1.3 Soluciones civiles similares	14
2.2 Tecnología utilizada para el desarrollo de la solución propuesta	16
2.2.1 Internet de las Cosas	16
2.2.2 Low Power Wide Area Networks (LPWAN)	17
2.2.3 LoRa	17
2.2.4 LoRaWAN	17
3 Desarrollo del TFG	21
3.1 Situación actual de evaluación de recorridos topográficos	21
3.2 Requisitos para el diseño del sistema	22
3.2.1 Requerimientos técnicos	22
3.2.2 Requerimientos funcionales	23
3.3 Materiales utilizados	23
3.3.1 Recursos hardware	23
3.3.2 Recursos Software	26
3.4 Configuración del sistema	28
3.4.1 Configuración del Gateway	28
3.4.2 Configuración de los Dragino Tracker LGT92	29
3.4.3 Configuración para el tratamiento de datos	32
4 Pruebas de validación	43
4.1 Prueba en la Escuela Naval Militar	43
4.1.1 Problemas encontrados	45

4.2 Prueba autonomía.....	46
4.3 Prueba a larga distancia.....	47
4.3.1 Prueba desde el puente de las Corrientes.....	47
4.4 Prueba Lago Castiñeiras.....	49
4.4.1 Resultado Tracker 018300DA	51
4.4.2 Resultado Tracker 018300EA.....	55
4.4.3 Resultados prueba lago Castiñeiras	59
5 Conclusiones y líneas futuras	61
5.1 Conclusiones	61
5.2 Líneas Futuras	62
6 Bibliografía.....	65
Anexo I: Extracto del LGT-92 LoRaWAN GPS <i>Tracker</i> User Manual	67
Anexo II: Extracto del LGT-92 LoRaWAN GPS Tracker User Manual	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Constelación NAVSTAR [3].....	12
Figura 2-2 Sistema de navegación para automóviles con receptos GPS integrado [4].....	12
Figura 2-3 Plataforma FBCB2 [5].....	13
Figura 2-4 Interfaz de la aplicación ATAK [8].....	14
Figura 2-5 Pulsera Geosatis [10].....	15
Figura 2-6 Spot Gen 4 [12].....	15
Figura 2-7 Internet de las cosas [14]	16
Figura 2-8 Capas protocolo LoRaWAN [19]	17
Figura 2-9 Estructura LORAWAN [20].....	18
Figura 3-1 ASUS N552VX [21].....	24
Figura 3-2 Gateway Dragino LPS8 [22]	24
Figura 3-3 Dragino LGT92	25
Figura 3-4 Antena OMB.868.B05F21 sobre trípode.....	25
Figura 3-5 Diferentes gráficas de Grafana [23].....	26
Figura 3-6 Topología en estrella, protocolo MQTT [24]	27
Figura 3-7 Interfaz MQTT Explorer	28
Figura 3-8 Acceso al servidor <i>gateway</i>	29
Figura 3-9 Configuración cliente MQTT	29
Figura 3-10 Adaptador TTL a USB	30
Figura 3-11 Inscripción de nodos al <i>gateway</i>	31
Figura 3-12 Topología MQTT.....	33
Figura 3-13 Carpeta Influxdb descarga	34
Figura 3-14 Influxd ejecutándose.....	34
Figura 3-15 Interfaz programa cliente InfluxDB	35
Figura 3-16 Node-RED ejecutándose.....	35
Figura 3-17 Flow Node-RED utilizado	36
Figura 3-18 Configuración nodo MQTT in <i>tracker</i> 018300DA	37
Figura 3-19 Configuración nodo MQTT in <i>tracker</i> 018300EA.....	37
Figura 3-20 Configuración nodo <i>function</i> del <i>tracker</i> 018300DA.....	38
Figura 3-21 Configuración nodo <i>function</i> del <i>tracker</i> 018300EA	38
Figura 3-22 Configuración nodo Worldmap	39
Figura 3-23 Configuración Influx out node para <i>tracker</i> 018300DA	40
Figura 3-24 Configuración Influx out node para <i>tracker</i> 018300EA.....	40

Figura 3-25 Interfaz inicio sesión Grafana	41
Figura 3-26 Añadiendo base de datos Tracking a Grafana	41
Figura 3-27 Configuración panel <i>plugin</i> Trackmap	42
Figura 4-1 Puntos seleccionados de la Escuela Naval Militar	43
Figura 4-2 Sistema montado sobre vehículo	44
Figura 4-3 Visualización del resultado con Grafana	44
Figura 4-4 Visualización del resultado con Node-RED	45
Figura 4-5 Flow Node-RED prueba de autonomía	46
Figura 4-6 Resultado prueba de autonomía con Grafana	46
Figura 4-7 Resultado en Grafana.....	47
Figura 4-8 Panorámica emisión.....	48
Figura 4-9 Perfil de elevación entre muelle torpedos y puente de las Corrientes (Google Earth) ...	48
Figura 4-10 Sistema montado sobre vehículo en Mirador de Coto Redondo	49
Figura 4-11 Puntos emitidos por ambos <i>tracker</i> (Worldmap de Node-RED).....	50
Figura 4-12 Recorrido <i>Tracker</i> 018300DA (Grafana)	51
Figura 4-13 Recorrido <i>Tracker</i> 018300EA (Grafana).....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Nivel de batería	32
Tabla 2 Cota 340 C1.....	51
Tabla 3 Collado 438 L1.....	52
Tabla 4 Curva de nivel 350 con vaguada V1	52
Tabla 5 Espolón 416 E1	53
Tabla 6 Espolón 414 E2	53
Tabla 7 Espolón 373 E3	54
Tabla 8 Cruce caminos I1.....	54
Tabla 9 Cruce camino vaguada V2	55
Tabla 10 Cota 433 C2.....	56
Tabla 11 Collado 422 L2	56
Tabla 12 Collado 399 L3.....	57
Tabla 13 Cota 434 C3.....	57
Tabla 14 Cruce de caminos I2	58
Tabla 15 Cruce vaguada camino V3	58
Tabla 16 Cruce de caminos I3.....	59

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

A lo largo de este primer capítulo se expondrá una breve contextualización del TFG, la necesidad desde la cual surge su elaboración y se detallarán los objetivos que se persiguen, así como la organización del resto de la memoria.

1.1 Necesidad militar de seguimiento de tropas

Desde el lanzamiento del primer satélite artificial, el *Sputnik-1*, el mundo ha vivido un extraordinario desarrollo en todas las diferentes tecnologías relacionadas con la localización. Esta necesidad de conocimiento ha estado durante toda la historia ligada a la humanidad. Y es por ello por lo que, estos avances, se han plasmado en infinidad de aplicaciones en entornos civiles y militares que dan respuesta a multitud de necesidades.

Dentro del ámbito militar, el éxito de muchas de las operaciones militares depende en gran medida de ejercer un mando y control eficaz. Esto es debido a que esta función de mando y control (C2), término militar que han adoptado las principales potencias mundiales, recoge todo el conjunto de actividades de planeamiento, dirección, coordinación, control y conducción de la fuerza para el cumplimiento de la misión [1]. Todo ello, no solo pasa por el personal y los procesos que involucra, sino también por unos sistemas de información que posibilitan al Mando tomar decisiones en el momento propicio. Y es en este punto, donde el disponer del conocimiento preciso en tiempo y situación geográfica de las fuerzas involucradas lo que puede otorgar resultados determinantes en el ejercicio del mando.

Esto es debido por lo complejo, diverso y cambiante que el espacio de batalla puede llegar a ser. Esto ha provocado que los ejércitos estén apostando por un proceso de digitalización del espacio de batalla para reducir al máximo la incertidumbre que este genera. Por ello, desde hace años se han ido innovando en tecnologías que puedan satisfacer esta verdadera necesidad de la mano del gran auge tecnológico en el que estamos inmersos.

Además, estas tecnologías para la localización, aparte de tomar un gran peso en los conflictos militares actuales, también lo toman durante el adiestramiento en los ejércitos de todo el mundo. Y es en este ambiente precisamente, dónde estas tecnologías podrían solventar una necesidad con la que cuenta la Escuela Naval Militar.

1.2 Motivación de la necesidad

Este trabajo nace de la necesidad que tiene la Escuela Naval Militar de disponer de un sistema que dote al profesorado de una herramienta eficaz y fiable para evaluar a sus alumnos de Infantería de Marina durante los recorridos topográficos, los cuales forman parte del área de evaluación de Topografía en la asignatura de Instrucción y Adiestramiento (I+A).

En la actualidad, para dicha evaluación se utilizan métodos que requieren de mucho tiempo para su ejecución, por lo que, ahorraría muchas horas de trabajo que pudieran ser invertidas en otros aspectos, si se utilizase algún tipo de sistema que otorgase al profesorado de una herramienta capaz de mostrar los diferentes recorridos topográficos que han llevado a cabo sus alumnos.

Por otra parte, la implementación de un sistema de localización podría suponer a mayores, una herramienta que dote de mayor seguridad a estos ejercicios. Esto es debido principalmente, a que estos recorridos topográficos, a excepción del primer curso, lo realizan los alumnos de manera individual. Además, tal como se desarrollan en la actualidad estos recorridos, en el caso en el que un alumno sufriese algún tipo de incidente, el profesorado no sería consciente de ello hasta no agotado el tiempo del ejercicio y se percatase de la ausencia del mismo.

1.3 Objetivo del TFG

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es la puesta en marcha de una red inalámbrica tipo LoRaWAN, que durante los recorridos topográficos proporcione al profesorado y a los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar, una herramienta para la evaluación de los recorridos topográficos encuadrados dentro del área de evaluación de Topografía de las prácticas de campo.

Además, se establecen los siguientes objetivos secundarios:

- Posibilitar el almacenamiento de los datos recogidos durante los recorridos topográficos para poder llevar a cabo consultas una vez finalizados los ejercicios.
- Llevar a cabo diferentes pruebas que sometan al sistema a su comprobación en diferentes escenarios.
- Implementar herramientas gráficas para conseguir una interfaz intuitiva y amigable para el usuario, que permita la visualización de los recorridos topográficos realizados por los alumnos.
- Añadir la funcionalidad de que el sistema sea capaz de emitir una alarma al profesorado en caso de que al alumno tenga algún tipo incidencia.

1.4 Organización de la memoria

La memoria se ha organizado mediante seis capítulos. El contenido se ha distribuido de la siguiente manera:

- En el segundo capítulo, se exponen diferentes soluciones que existen en el ámbito civil y en el ámbito militar, que responden a necesidades similares con las que cuenta el objeto de este proyecto. Por último, se expone la tecnología que se ha utilizado para desarrollar la solución propuesta.
- En el capítulo tres, se presenta el desarrollo del proyecto con el que se conforma el sistema basado en una red inalámbrica LoRaWAN, mencionando los requisitos que debe ser capaz de solventar, los recursos utilizados y la configuración de los diferentes componentes.
- En el capítulo cuatro, se exponen las diversas pruebas que se han llevado a cabo para evaluar la fiabilidad y efectividad del diseño del sistema, de cara a posibilitar su posterior aplicación en la evaluación de los recorridos topográficos que llevan a cabo los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar.

- En el capítulo cinco, se presentan las conclusiones que vienen derivadas del desarrollo y de las pruebas realizadas al sistema. También se incluyen una serie de líneas futuras que podrían proporcionar mejoras al sistema.
- En el capítulo seis y último, se expone la bibliografía dónde se relacionan el conjunto de referencias, recursos web, libros y artículos usados en el desarrollo del proyecto.

2 ESTADO DEL ARTE

A lo largo de este segundo capítulo se expondrán diferentes soluciones que existen en el ámbito civil y en el ámbito militar, que responden a necesidades similares con las que cuenta el objeto de este proyecto. Finalmente, se expone la tecnología que se ha utilizado para desarrollar la solución propuesta, comentando los rasgos principales que la hacen tan interesante para este TFG.

2.1 Soluciones similares existentes

Las aplicaciones que responden a estas necesidades cuentan con una gran variedad de dispositivos en el mercado actual. Sin embargo, la mayoría requieren de un gasto periódico aparte del gasto inicial de adquisición o directamente, tienen un gasto inasumible teniendo en cuenta la función que necesita suplir el proyecto, como pueden ser, por ejemplo, los precios de adquisición de los sistemas de comunicaciones que forman parte de las redes tácticas que utilizan los *Blue Force Tracking* que se explicarán posteriormente. Además, muchas de las tecnologías que usan estos dispositivos tienen una gran dependencia a redes externas que pueden llegar a ser una limitación en las zonas dónde típicamente se desarrollan los ejercicios, como es el caso de los dispositivos que se basan en la tecnología GSM (*Global System for Mobile*).

Si bien, muchas son las diferencias entre las distintas soluciones que se presentarán a continuación, todas tienen una característica en común; la utilización de un sistema global de navegación por satélite. Más específicamente, al menos en los siguientes, el uso del sistema de posicionamiento global. Por ello, previo a explicar las diferentes aplicaciones existentes, se hace necesario entender qué es el GPS.

2.1.1 Sistema de posicionamiento global

El GPS es un sistema de radionavegación mundial que fue desarrollado en el siglo XX por el Departamento de Defensa de los EE. UU., el cual tenía inicialmente una motivación militar para más tarde involucrarse en el día a día de usuarios de todo el mundo.

El sistema GPS tiene por objetivo el cálculo de la posición de un punto en un espacio de coordenadas (x, y, z), basándose en el cálculo de la distancia del punto a calcular, con respecto al menos tres satélites con localización conocida [2]. Con tal propósito, es un sistema que se compone principalmente de tres elementos para suministrar esta información de ubicación:

- Segmento Espacial

El segmento Espacial consiste en la constelación NAVSTAR de satélites (Figura 2-1) que transmiten señales de radio al segmento del usuario desde una altura de unos 20200 Km. Para ofrecer un servicio continuo, suelen estar entre 24 y 31 satélites activos continuamente, y de esa manera, obtener una observación mínima de 4 a 6 satélites en cualquier lugar del mundo las 24 horas del día.

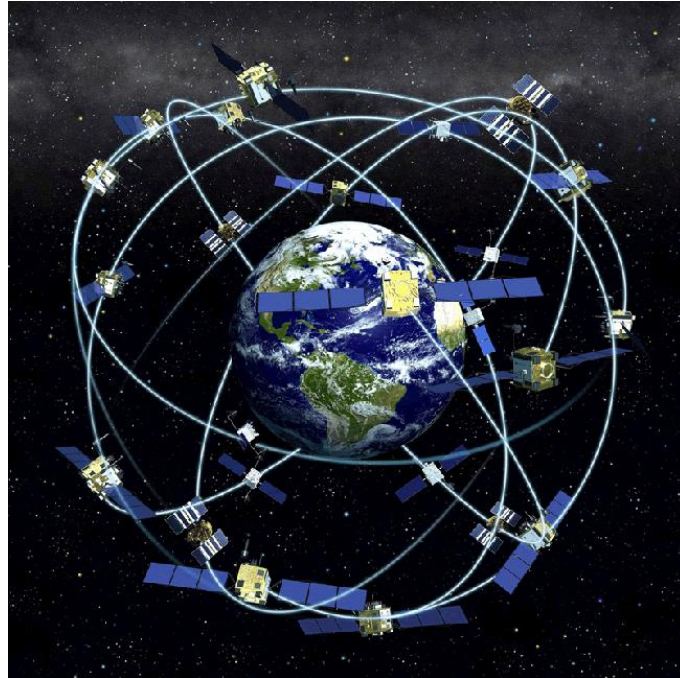


Figura 2-1 Constelación NAVSTAR [3]

- Segmento de Control

El segmento de control es el encargado del seguimiento y control de la constelación de satélites para monitorizar y controlar las transmisiones. Para ello cuenta con estaciones de seguimiento distribuidas por el globo terráqueo que mantienen a los satélites en la órbita apropiada y ajustan los relojes satelitales.

- Segmento del usuario

Lo compone un equipo receptor como el que se muestra en la Figura 2-2, el cual recibe las señales de la constelación de satélites para procesarlas y calcular así, la posición y la hora mediante trilateración.



Figura 2-2 Sistema de navegación para automóviles con receptos GPS integrado [4]

2.1.2 Soluciones militares similares

Una vez comprendido qué es el Sistema de Posicionamiento Global, base de la mayoría de las aplicaciones que aparecerán en los siguientes apartados, se comenzará exponiendo una serie de aplicaciones militares que responden a necesidades similares a las de este proyecto.

Blue Force Tracking (BFT)

EL *Blue Force Tracking* es un concepto inventado por los Estados Unidos que recoge aquellos sistemas que proporcionan a las fuerzas militares información acerca de la ubicación de sus fuerzas propias.

Estos sistemas BFT suelen consistir en una computadora que se encarga de recoger la información de las diferentes ubicaciones, una terminal y antena satelitales para la transmisión de la ubicación y otros datos de interés militar, un receptor del Sistema de Posicionamiento Global, y un software de control y mapeo para traducir toda esta información en mapas que otorgan una clara visualización del espacio de batalla.

Todo ello para otorgar una mayor conciencia situacional del espacio de batalla a los comandantes de las fuerzas en tiempo real.

Force XXI Battle Command Brigade and Below, FBCB2

Una de las principales tecnologías BFT que utiliza el ejército estadounidense es el *Force XXI Battle Command Brigade and Below*, una plataforma de comunicación basada en *Linux* diseñada para que los comandantes puedan realizar un seguimiento en tiempo real tanto de sus tropas como del enemigo.

Para ello, se transmite continuamente la información a través de la red de radio táctica del EPLRS (*Enhanced Position Location Reporting System*). Esta es una red que utiliza el acceso múltiple por división de tiempo con salto de frecuencia en la banda UHF. Cada red está controlada por una estación de control de red, que en el caso de la plataforma FBCB2 es el AN/TSQ-158 producido por Raytheon. Con ello, la plataforma monitorea esas ubicaciones y muestra el progreso que están llevando a cabo las fuerzas propias y enemigas para consolidarlo todo finalmente en una imagen operativa, dónde se ve de manera gráfica la situación del espacio de batalla.



Figura 2-3 Plataforma FBCB2 [5]

Android Team Awareness Kit

Otra de las aplicaciones similares es la aplicación *Android Team Awareness Kit* (ATAK) para *smartphones* que fue desarrollada por la *Air Force Research Laboratory*. Si bien la aplicación está más desarrollada en Android también hay versión para Windows (WinTAK) y para iOS (iTAK) [6].

Esta aplicación también busca aportar una mayor conciencia situacional del espacio de batalla al mando, otorgando mapas superpuestos que se conjugan con la situación geográfica en tiempo real de los eventos en curso.

Desde el año 2020 ATAK cuenta con una versión civil de código abierto (ATAK-CIV) además de sus versiones ATAK-GOV y ATAK-MIL de uso restringido [7].

Por normal general, esta aplicación utiliza la red GSM o alguna red táctica tipo *mesh* para ofrecer las funcionalidades que a continuación se relacionan:

- Compartir posición en la que se encuentra el dispositivo.
- Compartir audio, video, chat y texto con demás usuarios.
- Otorga una interfaz intuitiva para un conocimiento mayor de los eventos que se están llevando a cabo en el momento (Figura 2-4).
- Herramientas para salto en paracaídas.
- Herramientas para adquisición de blancos.



Figura 2-4 Interfaz de la aplicación ATAK [8]

2.1.3 Soluciones civiles similares

Dentro del mundo civil también se encuentran múltiples aplicaciones que cuentan con la idea base la geolocalización. Algunos ejemplos son rastreadores de animales, monitorización de reclusos, localizadores de maletas, de vehículos, etc. En este subapartado se mencionan las siguientes aplicaciones de mayor relevancia con el objeto del proyecto.

Geosatis

Desde hace unos años se ha visto aumentado el número de países que han implementado el monitoreo electrónico como herramienta para sus sistemas penitenciarios. Esto ha sido beneficiado en gran parte gracias a que cada día este tipo de tecnologías están dando una mayor confiabilidad y seguridad.

En este punto apareció Geosatis [9], una empresa que ha desarrollado una pulsera de tobillo (Figura 2-5) que es capaz de monitorizar a los reclusos domiciliarios. Para ello se vale de la pulsera propiamente, una estación base y un software de seguimiento. La estación base está en continua conexión con la pulsera por radiofrecuencia mientras no salga de la vivienda, y en caso de alarma, debido a que el recluso saliese del edificio, se activaría la localización por GPS.



Figura 2-5 Pulsera Geosatis [10]

Saved my SPOT

Los aparatos Spot son una serie de localizadores (Figura 2-6) que combina la tecnología GPS con la telefonía satélite de Globalstar. Estos ofrecen la posibilidad de enviar constantemente la ubicación en cualquier lugar del mundo.

Para llevar a cabo este seguimiento, estos dispositivos usan GPS para la determinación de las coordenadas donde se encuentra el usuario para más tarde enviar esta información a un Satélite Globalstar que a su vez transmite la información hacia donde se haya prefijado previamente. Además, de misma manera, los aparatos de mayor gama cuentan con la posibilidad de comunicación bidireccional, y portan un botón de emergencia que alertaría al personal de búsqueda y rescate local en caso de necesidad [11].

El uso de este servicio requiere de un gasto periódico aparte del propio coste de adquisición del propio dispositivo.



Figura 2-6 Spot Gen 4 [12]

2.2 Tecnología utilizada para el desarrollo de la solución propuesta

Durante este subapartado se encuadrará la tecnología que ha servido de base para diseñar la solución que propone este presente TFG. Para ello, previamente a introducir en específico la tecnología LoRaWAN, es necesario introducir lo que se ha convertido en uno de los conceptos más populares en los avances tecnológicos, el IoT o Internet de las Cosas, principal consumidor de las redes tipo LoRa.

2.2.1 Internet de las Cosas

El término Internet de las cosas se empleó por primera vez por Kevin Ashton en 1999 para describir un sistema que posibilitaba la conexión objetos físicos a internet mediante la utilización de sensores. Desde entonces, este término a tomado mucho peso en la industria de la tecnología, encarnándose en una amplia gama de productos y sistemas. Todo ello valiéndose de los progresos en cuanto a miniaturización de componentes electrónicos, el desarrollo de las redes inalámbricas y de la potencia de cálculo con la que pueden contar los sistemas.

Es por ello por lo que, el Internet de las Cosas responde a la limitación intrínseca que tiene el ser humano para atender de manera continua y con precisión la información que requieren multitud de aparatos electrónicos de uso habitual [13]. Para ello el IoT permite conectar elementos físicos cotidianos a Internet para que la intervención humana sea mínima (Figura 2-7).



Figura 2-7 Internet de las cosas [14]

Toda esta tecnología está evolucionando rápidamente lo que está ofreciendo casi infinitas aplicaciones en múltiples sectores, lo que está provocando cada año un aumento de las conexiones IoT. Conforme a un informe de la organización Global Data International se estima que el Internet de las Cosas vaya aumentando su peso exponencialmente, previendo un valor en ingresos de más de 1 billón de dólares para el 2024 [15].

En la actualidad se están utilizando en entornos cómo:

- La medicina, con dispositivos para monitorear y controlar la salud de las personas o como servir de herramientas para aumentar la aptitud física.
- Ciudades inteligentes, realizando labores de control adaptativo de tráfico, monitoreo ambiental, control de consumos energéticos.
- En fábricas para mejorar los sistemas de producción optimizando rutinas de trabajo o para mantenimiento predictivo.
- Control inteligente y sistemas de seguridad para los hogares.

2.2.2 Low Power Wide Area Networks (LPWAN)

Las redes LPWAN, de sus siglas, *Low Power Wide Area Networks*, son tecnologías de comunicación inalámbrica que nacen por la gran necesidad planteada por el Internet de las Cosas de transmitir datos entre un dispositivo y una estación base que se encuentran a larga distancia, todo ello con el requerimiento de tener consumos energéticos muy bajos.

Por norma general, las tecnologías de transmisión inalámbrica buscan tener un óptimo consumo energético, un buen alcance y una elevada capacidad de transmisión, pero no existe ninguna tecnología que cubra a la perfección estas tres características. Por ello, en este caso, Las *Wireless Wide Area Network* si bien tienen un gran alcance con un consumo muy bajo energético, sacrifica el número de datos que es capaz de transmitir [16].

Dentro de este tipo de redes destacan principalmente la tecnología SigFox y la tecnología LoRa, siendo esta última la que se utilizará para la consecución de los objetivos de este proyecto.

2.2.3 LoRa

El nombre de LoRa nace de la abreviatura *Long Range*, haciendo referencia al largo alcance que esta proporciona, ideal para redes de IoT en la que los sensores que forman parte de la red no tienen opción a corriente eléctrica dando múltiples posibilidades de aplicación.

LoRa es una técnica de modulación que ha conseguido posicionarse como una de las principales tecnologías inalámbricas dentro de las tecnologías LPWAN. Fue desarrollada en sus orígenes por Semtech [17] y en la actualidad está administrada por LoRa Alliance, una asociación sin ánimo de lucro que busca impulsar el éxito del estándar LoRaWAN como estándar global para conectividad del Internet de las Cosas [18]. Trabaja dentro de la banda ISM que depende en función de cada país. En Europa por ejemplo las frecuencias de 915 y 868 MHz están autorizadas. Esto posibilita que cualquier persona pueda utilizar esta tecnología sin necesidad de licencia, respetando los valores de emisión.

Además, LoRa cuenta con las siguientes ventajas:

- Cobertura: Ofrece grandes distancias de transmisión, hasta 15 km.
- Bajo consumo de energía.
- Escalabilidad, añadir o sustituir nodos no afecta a la red.
- Fiabilidad debido a su alta tolerancia a interferencias.
- Seguridad mediante encriptación AES 128 en múltiples niveles para todos los datos.

2.2.4 LoRaWAN

Para la gestión de los canales y dispositivos LoRa se encuentra LoRaWAN, una pila de protocolos que atendiendo a los niveles OSI sería la capa 2 de red. Haría lo que se entiende como MAC (*Media Access Control*). Para ello se vale de la tecnología LoRa como capa física.

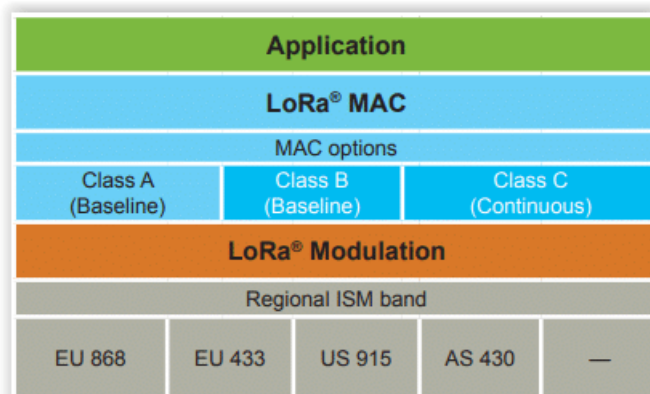


Figura 2-8 Capas protocolo LoRaWAN [19]

La arquitectura de una red LoRaWAN como se ve en el icono (Figura 2-9) se compone típicamente de nodos, *gateways*, un servidor de red y un servidor de aplicaciones.

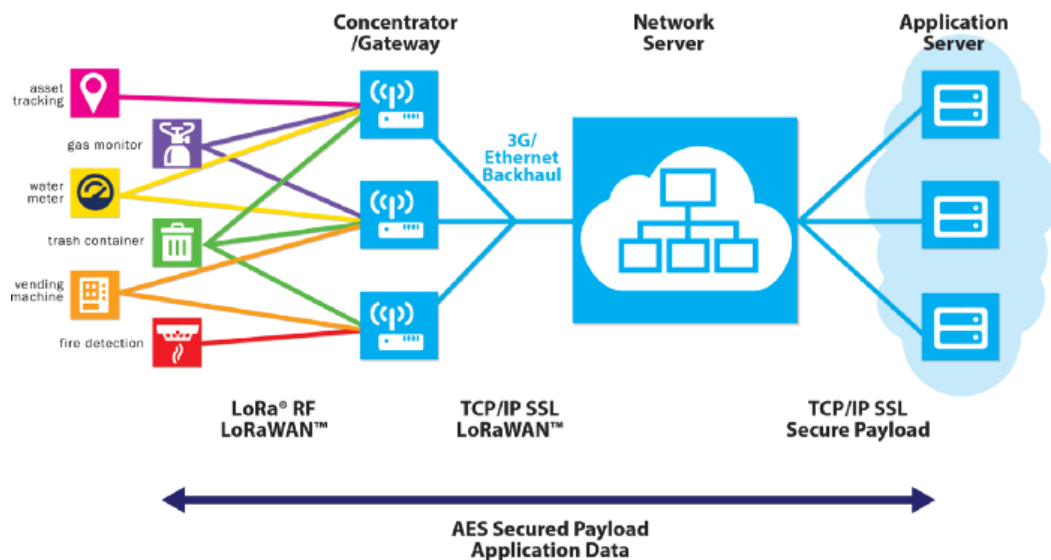


Figura 2-9 Estructura LORAWAN [20]

- Los nodos finales son los dispositivos físicos que suelen estar equipados con funciones de sensor. Dependiendo del nodo son capaces de recibir y transmitir datos a la puerta de enlace. Para ofrecer la amplia gama de aplicaciones con las que cuenta LoRaWAN existen tres tipos de clases de nodo:
 - Clase A: Son dispositivos que permiten comunicación bidireccional, pero con la restricción de que solo entrará en modo escucha después de enviar un paquete para tener la posibilidad de obtener un ACK de vuelta o datos de la aplicación si fuera necesario. Por ello son dispositivos que por normal general son los que menos energía consumen y utilizan baterías como métodos de alimentación.
 - Clase B: Estos dispositivos tienen la capacidad de establecer ventanas de recepción por lo que tienen un consumo de energía mayor respecto a los de la clase A.
 - Clase C: Estos son los dispositivos que más energía consumen y es por ello por lo que suelen estar alimentados a la red. Esto es debido a que están permanentemente escuchando y pueden recibir datos en cualquier momento excepto cuando estén enviando. Ofrece mejores tiempos de respuesta y capacidad de envío.
- Los *gateways* son dispositivos hardware donde se reciben todos los mensajes LoRaWAN de los nodos finales. Estos son los encargados de generar la red inalámbrica LoRaWAN para dar cobertura a los diferentes nodos. Además, es el responsable de enviarles los comandos pertinentes a los nodos. Tienen una capacidad de tratamiento de datos limitado, por ello las tareas complejas se suelen llevar a cabo en el servidor red.
- Los servidores de red son donde se realiza el procesamiento de los datos. Es responsable del enrutamiento a la aplicación necesaria, de la selección de la mejor puerta de enlace para mensaje de enlace descendente y de la eliminación de mensajes duplicados. Estos servidores usualmente tienen una interfaz para administrar las diferentes puertas de enlace, corregir errores, fijar alarmas, etc.

- El servidor de aplicaciones es dónde se encuentra la aplicación del Internet de las Cosas. Estos servidores se ejecutan principalmente a través de una nube pública o privada que se conectan al servidor de red LoRaWAN.

Todo ello para desarrollar aplicaciones en múltiples sectores donde se llevan a cabo iniciativas del IoT. Algunos ejemplos son:

- Facilita a sectores como el agrícola, la creación de proyectos para la gestión automatizada e inteligente. Monitorización climática, monitorización del suelo, automatización de riegos, etc.
- Contribuye al desarrollo de edificios inteligentes mediante la monitorización de consumos, control de iluminación, temperaturas, etc.
- Facilita las transmisiones en proyectos de construcción de túneles en los que los puntos de monitorización están repartidos a lo largo de grandes distancias.
- Sistemas para la gestión energética mediante contadores que retransmiten los consumos.

3 DESARROLLO DEL TFG

En este tercer capítulo se contextualiza cómo se evalúan en la actualidad los recorridos topográficos que se llevan a cabo en la Escuela Naval Militar. Posteriormente se enumeran los requisitos que imponen tanto la tecnología seleccionada como las propias características intrínsecas de este tipo de ejercicios. Finalmente, se mencionan los recursos que se han utilizado para el diseño de la solución propuesta, así como las diferentes configuraciones que se han llevado a cabo en los diferentes elementos.

3.1 Situación actual de evaluación de recorridos topográficos

La valoración de las prácticas de campo que deben pasar los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval militar se compone de la evaluación parcial de las siguientes cinco áreas: Topografía, Tiro, Táctica, Adaptación Psicofísica para el Combate y Conducta. La evaluación del área de Topografía, que es la que atañe a este proyecto, se realiza mediante los ejercicios recogidos en la programación anual de Prácticas de Campo en las que se realizan recorridos topográficos diurnos y nocturnos.

Para la realización de dichos ejercicios topográficos, previamente el profesorado encargado, debe seleccionar una serie de puntos característicos del terreno a lo largo de una zona que se determine. Estos puntos típicamente suelen ser cotas, collados, vaguadas, espolones, cruces etc. Por norma general se colocan entre 20 y 30 puntos para evitar, lo máximo posible, que no coincidan los recorridos entre los diferentes alumnos.

A cada alumno se le entregan las coordenadas de cuatro o cinco de estos puntos los cuales deberá reconocer en el orden que se le ha indicado. Una vez entregado estas coordenadas el alumno se dispone a realizar el recorrido con la única ayuda de una brújula, coordinatógrafo y mapa topográfico de la zona indicada, cuya escala dependerá del curso al que pertenezca el alumno, siendo 1:25000 para primer y segundo curso, y 1:50000 para el resto. Además, estos recorridos exceptuando el primer curso, se realiza de manera individual, estando terminantemente prohibido la realización en grupos y la utilización de teléfonos móviles, GPS o cualquier otro dispositivo que pueda proporcionar información acerca de su situación sobre el terreno.

En la actualidad para llevar a cabo estos ejercicios se utilizan principalmente dos métodos:

- En el primer método se basa en que cuando el alumno crea que ha llegado al punto que se le ha asignado, coloca una bolsa de manera visible en las inmediaciones del punto, incluyendo una hoja de “Punto de Control Topográfico”, dónde viene reflejado la identificación del punto al que cree que ha llegado, el curso, nombre, hora de llegada y hora de salida para comprobar el orden en el que se realiza. Una

vez acabado el ejercicio el profesorado será el encargado de ir a cada uno de los puntos topográficos que se han marcado para recoger cada una de las bolsas que han ido dejando los alumnos.

Este sistema tiene principalmente los siguientes problemas. El primer problema que aparece es la cantidad de tiempo que tiene que gastar el profesorado en la búsqueda de las bolsas en cada uno de los puntos que se han referenciado. También existe la posibilidad de que por la densidad de vegetación y la forma en la que se ha accedido al punto topográfico la bolsa no sea vista por el profesorado, aun estando en las proximidades del punto. Además, otra problemática que tiene es la posible pérdida de alguna bolsa por la climatología o directamente porque alguna persona que pase por la zona la retire.

- El segundo método, se lleva cabo mediante la colocación de un conjunto de balizas en los puntos a localizar. El alumno cuenta con una plantilla que deberá ir picando con cada una de las balizas que se encuentran en los diferentes puntos que tiene asignado. De esta manera al llegar al punto pica con la baliza el papel y ya sabría el profesor que efectivamente ha llegado al punto que se le pedía.

Este sistema cuenta con los siguientes problemas. El primero de ellos y más significativo es el tiempo que se tiene que invertir tanto antes como después de los ejercicios topográficos para la colocación y levantamientos de estas balizas. La segunda problemática viene a raíz de la ubicación de dicha baliza, la cual, en ocasiones, resulta no ser fácil de encontrar, aunque se encuentre el alumno a escasos metro de ella. Este problema se ve multiplicado cuando el recorrido se realiza en el arco nocturno.

3.2 Requisitos para el diseño del sistema

El objetivo principal va ligado al diseño de un sistema para la evaluación de los recorridos topográficos de dimensiones y peso reducidos. El sistema debe ser un sistema eficaz y fiable, que proporcione tanto al alumnado como al profesorado una herramienta fácil de usar que pueda adaptarse a las características propias de los ejercicios.

3.2.1 Requerimientos técnicos

- La tecnología LoRaWAN será la utilizada para desarrollar una red inalámbrica mallada (MESH). Esta tecnología por sus características se debe tener en consideración que:
 - LoRaWAN utiliza la frecuencia de 868 MHz en España.
 - El dispositivo debe tener una gran autonomía por lo que se utilizaran nodos de clase A.
 - La topología que se implementará es en estrella.
- Utilización de GPS. El sistema debe ser capaz de tener una precisión menor de 15 metros por lo que los dispositivos que se utilicen deben asegurarlo. Esto viene relacionado a que el alumno debe discernir si se encuentra realmente en el punto topográfico que le han asignado y no contentarse únicamente con estar en la zona.
- Autonomía. La configuración de los diferentes componentes de la red determinará la autonomía que tenga. Por ello, esta configuración, debe proporcionar una autonomía que posibilite ejercicios prolongados. Si bien los ejercicios que se realizan a lo largo de la semana no duran más de siete horas, en las semanas de Instrucción y Adiestramiento que se desarrollan a lo largo del curso, se podrían prolongar hasta las doce horas. Por lo tanto, los dispositivos deben ser capaces de resistir sin necesidad de recarga todo ese tiempo.
- Herramientas gráficas. El sistema debe contar con herramientas para la visualización de los diferentes recorridos topográficos realizados por los alumnos.

3.2.2 *Requerimientos funcionales*

Debido a la necesidad de que el sistema sea capaz de amoldarse a las características intrínsecas que conllevan estos ejercicios, se hace necesario que:

- La instalación del sistema debe ser una tarea sencilla para el usuario.
- No puede facilitar al alumno ningún tipo de ayuda relacionada con acceder a información acerca de su ubicación.
- El sistema debe tener la capacidad de enviar la información GPS en el momento concreto en el que el alumno crea que se encuentra en el punto topográfico asignado.
- El sistema debe tener la capacidad de guardar la información acerca del recorrido topográfico que han realizado los alumnos. De esta manera, se posibilite realizar consultas por franjas de tiempo para la evaluación posterior por parte del profesorado.
- Debe permitir ver el orden en el que se han llevado a cabo el envío de datos, para evaluar en que orden se ha realizado el recorrido.
- El marcado del punto topográfico debe ser una tarea rápida y ágil por parte del alumno. El ejercicio dura un tiempo determinado y es por ello por lo que el envío de la información no debe suponer mucho tiempo para el alumno.
- El dispositivo debe poder guardarse fácilmente en un bolsillo del chaleco o de la mochila de asalto que se usa típicamente en los ejercicios.
- El sistema debe ser capaz de reportar un aviso en caso de emergencia.

3.3 **Materiales utilizados**

Para la consecución de los diferentes objetivos con los que cuenta este proyecto, se han escogido los recursos que en los siguientes subapartados se relacionan.

3.3.1 *Recursos hardware*

Para la realización de este proyecto se han empleado los siguientes recursos hardware:

- Ordenador portátil ASUS N552VX.
- Gateway LPS8 LoRaWAN.
- 2 Dragino Tracker GPS LGT92 LoRaWAN.
- Antena omnidireccional OMB.868.B05F21.

Ordenador portátil ASUS N552VX

El ordenador portátil empleado para el desarrollo del proyecto es de la marca ASUS modelo N552VX (Figura 3-1) que cuenta con las siguientes características técnicas.

- Procesador Intel Core i7-6700HQ (4 Núcleos, 6M Cache, 2,6 GHz).
- Memoria RAM de 16GB DDR4 2133 MHz.
- Disco duro interno de 1 TB 7200 rpm SATA + 256 GB SSD.
- Gráficos NVIDIA GeForce GTX950 M con 2 GB.
- Sistema operativo Windows 10 de 64 Bits.
- Tiene un peso de 2,5 kg.



Figura 3-1 ASUS N552VX [21]

Gateway LPS8 LoRaWAN

El Dragino LPS8 (Figura 3-2) es una puerta de enlace LoRaWAN de código abierto que permite unir la red inalámbrica LoRa a una red IP a través de WiFi o Ethernet. Para ello utiliza el *Semtech Packet Forwarder* y es totalmente compatible con el protocolo LoRaWAN. Tiene las siguientes especificaciones (para más detalle ver Anexo II):

- Incluye un concentrador LoRa SX1308 que provee 10 vías de demodulación programables en paralelo.
- Está preconfigurado con las bandas de frecuencias estándar que utiliza LoRaWAN en las diferentes zonas geográficas.
- Cuenta con un puerto USB.
- Alimentación a través de USB Tipo-C de 5V, 2A.
- Tiene un peso de 187 gramos y un tamaño de 120*120*30 mm.



Figura 3-2 Gateway Dragino LPS8 [22]

Dragino Tracker GPS LGT92 LoRaWAN

El Dragino Tracker GPS LGT-92-LI LoRaWAN (Figura 3-3) es un dispositivo GPS de código abierto basado en el Microcontrolador de ultra bajo consumo STM32L072 y un módulo LoRa SX1276/1278. Cuenta con las siguientes especificaciones (para más detalle ver Anexo I):

- Cuenta con un módulo de GPS de baja potencia L76-L y un acelerómetro de 9 ejes para detección de posición y movimiento.
- Funciona con batería recargable de Li-on de 1000 mA con carga mediante puerto tipo micro USB.
- Cuenta con led tricolor, y un botón de alarma que se puede configurar para cambiar a diferentes modos de trabajo.



Figura 3-3 Dragino LGT92

Antena omnidireccional OMB.868.B05F21

Antena omnidireccional OMB.868.B05F21 de Taoglas es la antena que se ha utilizado para sustituir a la que viene por incluida con el *gateway* Dragino LPS-8. Tiene las siguientes características:

- Posibilita su uso en exteriores debido a su diseño resistente al agua.
- Tiene una longitud de 818,75 mm y un peso de 580 gramos.
- Capaz de conectarse con el *gateway* mediante conector SMA.
- Tiene un soporte incluido que se ha empleado para colocarlo sobre trípode.
- Ganancia máxima de 5 dBi.
- Rango de frecuencias 860MHz-870MHz.



Figura 3-4 Antena OMB.868.B05F21 sobre trípode

3.3.2 Recursos Software

Para la realización del proyecto se han utilizado los siguientes recursos Software:

- Eclipse Mosquitto.
- Node-RED.
- Grafana.
- InfluxDB.

Node-RED

Node-RED es una herramienta de código abierto construida en Node.js que está basada en programación visual. Fue creada por la *International Business Machines Corporation* (IBM) para conectar dispositivos de hardware, APIs y servicios de línea.

Esta herramienta permite conectar de manera gráfica diferentes bloques predefinidos que se denominan nodos, para desarrollar una tarea concreta. El conjunto de todos estos nodos, formados principalmente por nodos de entrada, procesamiento y salida, conforman lo que se conoce como *flow*. Y son precisamente estos *flow's* los que realizan el tratamiento o transformación de los datos recogidos para más tarde integrarlos en gran variedad de sistemas de mensajería. Es por ello por lo que se consolida como una herramienta eficaz y sencilla para la gestión de datos en tiempo real en entornos de la industria 4.0 e IoT. Además, esta herramienta de código abierto es compatible con el protocolo MQTT.

Grafana

Grafana es una herramienta de código abierto que facilita el análisis y visualización interactiva de datos temporales. Fue diseñado por Torkel Ödegaard e implementado en 2014. Está programado en lenguaje Go y Node.js LT. Cuenta con una interfaz de Programación de Aplicaciones (API).

Se puede ejecutar en Linux, Windows y en MacOS. Admite múltiples fuentes de código abierto además de múltiples bases de datos como PostgreSQL, OpenTSDB o como la que ha utilizado en este proyecto, InfluxDB.

Con todo ello ofrece al usuario gran cantidad de gráficos como los que se muestran en la Figura 3-5 Diferentes gráficas de Grafana, tales como histogramas, mapas geográficos, mapas de calor, etc. Se pueden aplicar filtros en los datos o incluso definir alertas y notificaciones. Además, se pueden ampliar sus funcionalidades a partir de gran cantidad de *plugins* con los que cuenta.



Figura 3-5 Diferentes gráficas de Grafana [23]

Influxdb

InfluxDB es un sistema de gestión de base de datos que ha sido desarrollado por InfluxData Inc. Es un software de código abierto, que permite almacenar series temporales. Por ello se suele usar para almacenar y evaluar datos de sensores que se han tomado a lo largo de un periodo de tiempo determinado como los que podrían proporcionar los equipos del Internet de las Cosas.

Eclipse Mosquitto

Eclipse Mosquitto es un intermediario de mensajes de código abierto que implementa el protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Este protocolo de mensajería entre dispositivos *machine to machine* fue creado por IBM. MQTT usa el protocolo de transporte *Transfer Control Protocol* y emplea por defecto el puerto 1883.

Este protocolo trabaja básicamente con dos clases de *hosts*, los clientes y el *broker*. Para ello cuenta con una topología en estrella como se muestra en Figura 3-6.

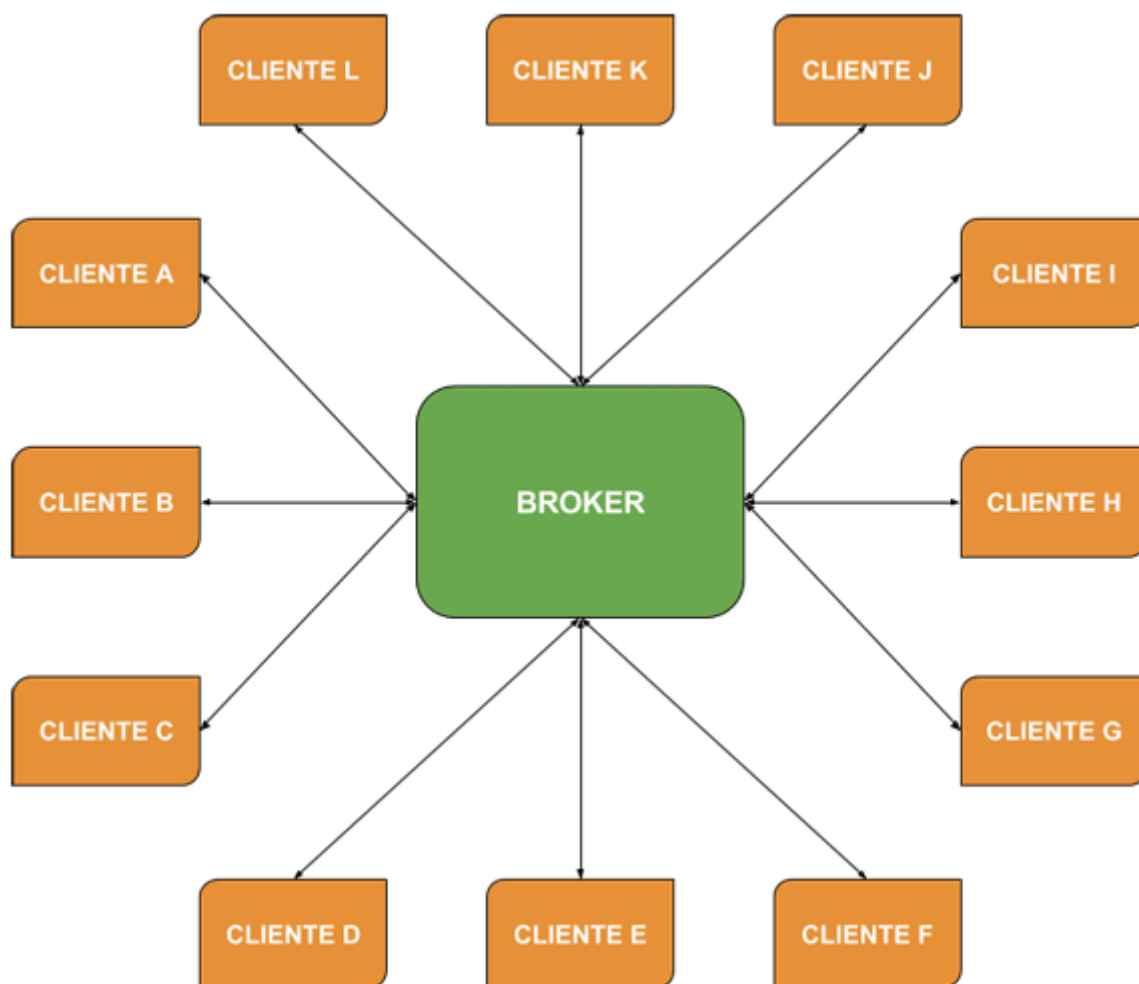


Figura 3-6 Topología en estrella, protocolo MQTT [24]

El *broker* es la parte central de la arquitectura debido a que todos los mensajes pasan por él.

Todo ello se basa en que cada uno de los clientes se suscribe a los *topic* que interese de tal forma que cuando al *broker* le llegue información sobre un *topic*, este la enviará a aquellos clientes que estén suscritos a ese *topic* en concreto.

MQTT Explorer

MQTT Explorer, un cliente MQTT desarrollado por Thomas Nordquist, ofrece una interfaz que facilita una descripción general estructurada de los *topics* MQTT y facilita el trabajo con dispositivos en su *broker*. Desde este pueden visualizar *topics* o mensajes, buscar, filtrar, publicar mensajes, etc. Abajo en la Figura 3-7 se muestra su interfaz.

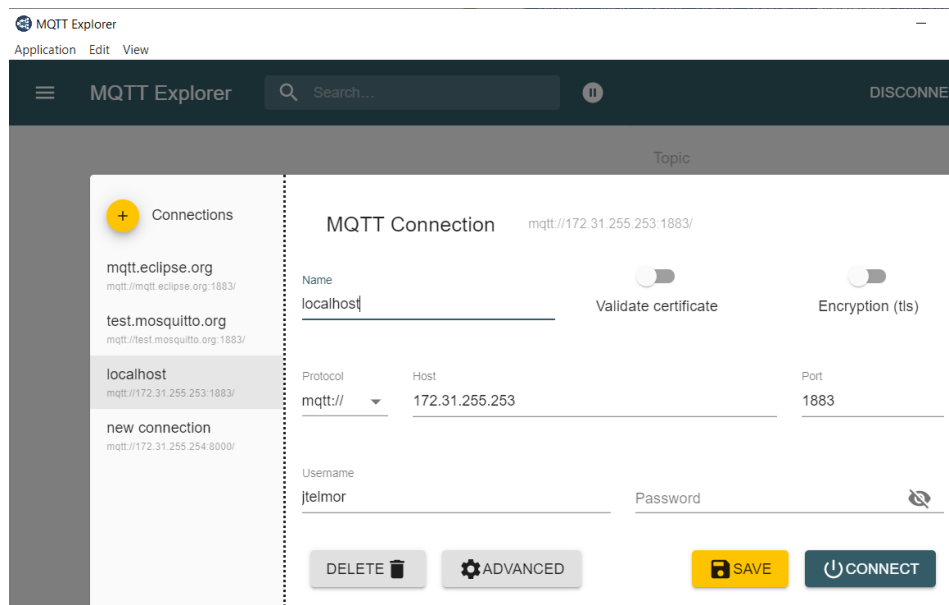


Figura 3-7 Interfaz MQTT Explorer

3.4 Configuración del sistema

Una vez enumerado los diferentes recursos que se han escogido para desarrollar la solución propuesta, se muestran a continuación las diferentes configuraciones que se han llevado a cabo en cada uno de los elementos que la compone.

3.4.1 Configuración del Gateway

Para configurar el *gateway* y poder conectarlo al ordenador vía puerto ethernet cuenta con la IP:172.31.255.254 que tiene habilitada. Para usarlo, primero se ha configurado el puerto ethernet del ordenador portátil con una IP:172.31.255.253 y una máscara de red: 255.255.255.252. Tras esto ya está habilitada la dirección `http://172.31.255.254:8000` en el navegador para acceder al servidor del *gateway*.

Al entrar pide un usuario y contraseña como aparece en Figura 3-8. El nombre de usuario por defecto es “root” y la contraseña “dragino”. Una vez dentro se accede a las configuraciones.

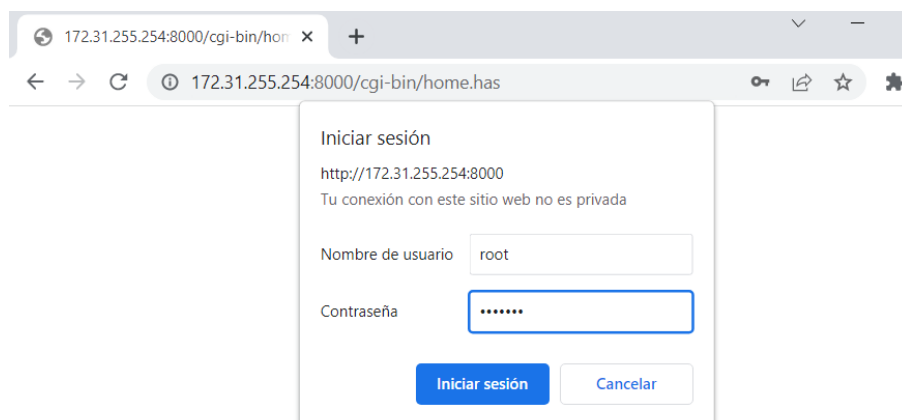


Figura 3-8 Acceso al servidor gateway

El siguiente paso es configurar el *Gateway* de tal manera que pueda comunicarse usando el modo ABP. Este modo proporciona al sistema no necesitar de un servidor LoRaWAN para trabajar, lo cual posibilita una conexión sin necesidad de internet. Para ello se combina el método de comunicación ABP con el protocolo de red MQTT para generar un *broker* MQTT. Se configuró de la siguiente manera.

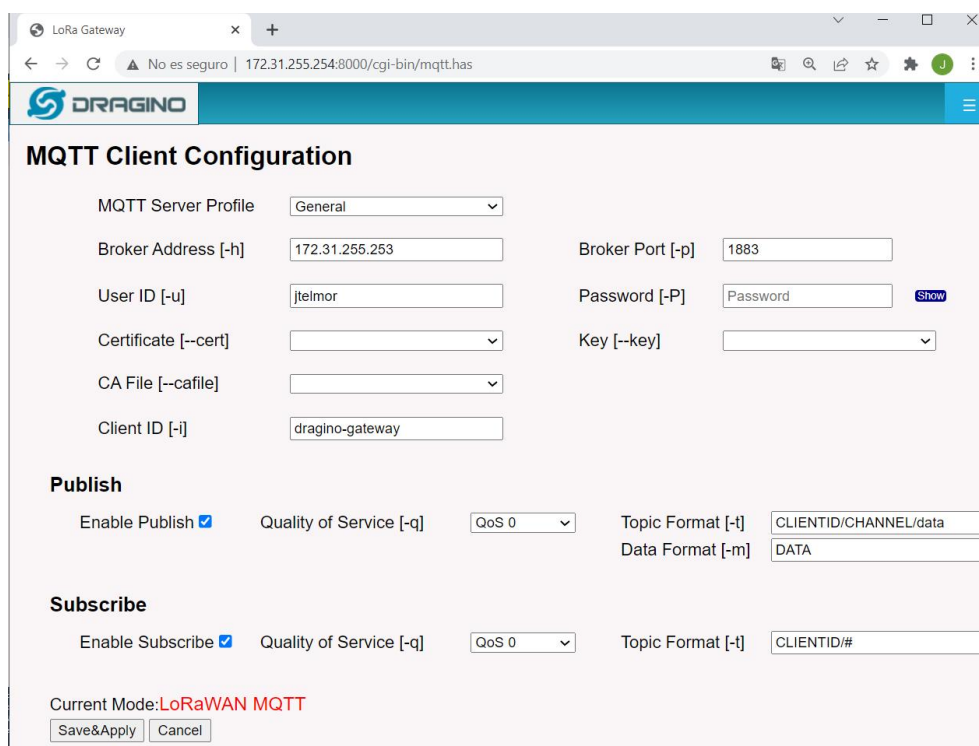


Figura 3-9 Configuración cliente MQTT

3.4.2 Configuración de los Dragino Tracker LGT92

Los Dragino Tracker LGT92 son los dispositivos que serán entregados a los alumnos para que sean capaces de enviar la información GPS una vez lleguen a los diferentes puntos topográficos que se les haya sido asignado. Es por ello por lo que necesitan de una configuración específica acorde con los recorridos topográficos.

El Dragino Tracker LGT92 viene por defecto configurado con el modo de trabajo OTAA el cual necesita conectarse a un servidor LoRaWAN IoT. Es por ello por lo que es necesario previamente configurarlo al modo ABP para trabajar sin conexión a internet.

Para realizar esta configuración se utilizó un adaptador de TTL a USB, como el que se muestra en la Figura 3-10, para poder acceder al dispositivo con el ordenador, y mediante la herramienta de PuTTY se introdujo el siguiente comando para pasar al modo ABP:

- **AT+NJM=0**
 - Este primer comando es el que posibilita al dispositivo trabajar en modo ABP ya que de manera predeterminada estos nodos trabajan en modo OTAA.

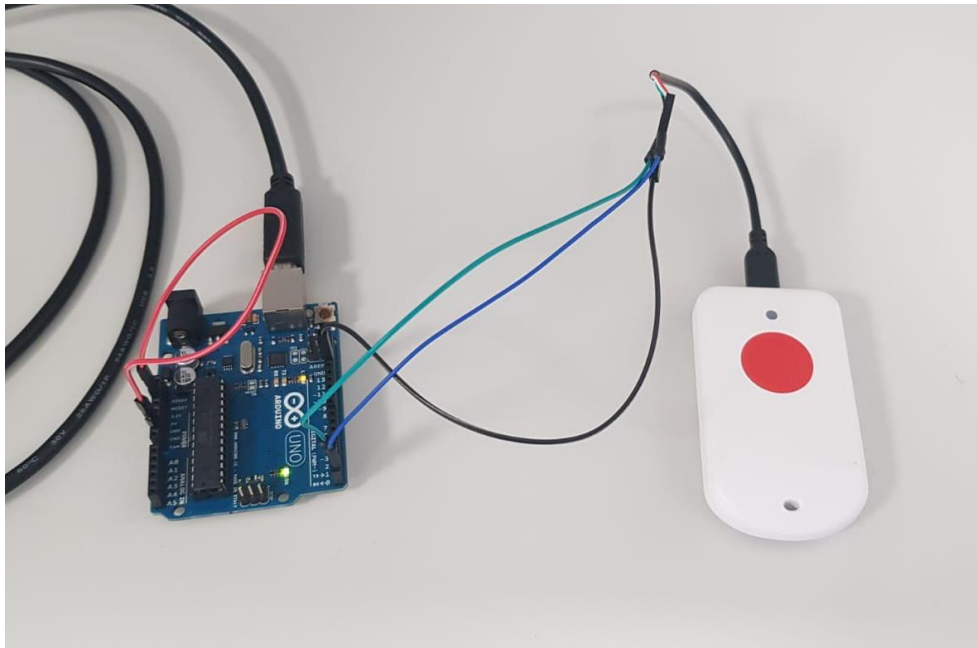


Figura 3-10 Adaptador TTL a USB

Una vez configurado para trabajar en modo ABP se pasó a inscribir ambos dispositivos en el *Gateway*. Para ello se necesita los siguientes parámetros de conexión:

- *DevAddres*: Dirección lógica que se utiliza para toda la comunicación con la red.
- *NetworkSessionKey*: Es la clave de cifrado que tiene el dispositivo con el operador utilizado para realizar las transmisiones y comprobar la integridad de los mensajes.
- *ApplicationSessionKey*: Clave de cifrado entre el dispositivo y el operador a través de la aplicación utilizada para transmisiones y validar la integridad de los mensajes.

Para obtener esta información se puede utilizar el siguiente comando:

- **AT+CFG**
 - Este comando devuelve multitud de información entre las que se encuentra una serie de claves que tiene el dispositivo necesarias para registrar los nodos en el *gateway*. Son necesarias *Dev ADDR*, *APP Session Key* y la *Network Session Key*, que se insertan en la pestaña de *Decrypt ABP End Node Packets* del *gateway* como se ve en la Figura 3-11.

Decrypt ABP End Node Packets

Enable ABP Decryption ☒

Add Key

Dev ADDR:

APP Session Key:

Network Session Key:

Decoder:

Delete Key Dev ADDR:

ABP Keys:

Dev ADDR	APP Session Key	Network Session Key	Decoder
018300DA	8311EE12A1F5FD9F21D5BDFE86979A1	8937FE19E6E6561EDB8F73171EB54774	Dragino_LGT92
018300EA	AD1B3F44DCF038544BDEB1EC5FC6FF17	82B42FD5599BAE756A3A7F15B8FF3852	Dragino_LGT92

Figura 3-11 Inscripción de nodos al gateway

El siguiente paso es configurar los nodos de la manera que más convenga para el objeto del proyecto. Los receptores tienen por defecto prefijado dos modos de trabajo [25]:

- Modo normal, que a su vez se divide en modo estático y modo movimiento:
 - o Modo estático, si el dispositivo detecta que se encuentra estático enviará la información una vez cada hora (KAT: *Keep Alive Time*=3600000ms)
 - o Modo movimiento: Si el dispositivo detecta que se encuentra en movimiento enviará la información cada cinco minutos (*Set Transmit Interval*: TDC=300000ms).
- Modo alarma. Este se activa cuando se mantiene pulsado durante cinco segundos el botón rojo que tiene. Este modo reduce considerablemente el tiempo de intervalo entre las emisiones que lleva a cabo el dispositivo.

Por defecto el tiempo de un envío de datos es cada sesenta segundos (*Set Alarm Packet Transmission Interval*: ACE=60000ms). Para quitar el modo alarma se hace necesario pulsar cinco veces el botón rojo. El dispositivo responderá para confirmarlo encendiéndose durante cinco segundos el led color verde.

En ambos modos, la información que incluye es:

- Nivel de batería, según la Tabla 1.
- Estado de activación de modo alarma.
- Longitud.
- Latitud.
- Altitud.
- Relación señal a ruido.

En el caso que el *tracker* no haya sido capaz de obtener la posición GPS enviará el mensaje con la latitud igual a 0 y la longitud igual a -4294,967295.

En caso de que la batería del receptor sea baja, menor de 2.84 V, se deshabilitaría la función de GPS. La batería viene reflejada según los siguientes parámetros.

Voltaje	Porcentaje de batería
>4.0V	80%-100%
3.85V-3.99V	60%-80%
3.70V-3.84V	40%-60%
3.40V-3.69V	20%-40%
<3.39V	0-20%

Tabla 1 Nivel de batería

Principalmente la configuración de este dispositivo se fundamenta en elegir los diferentes tiempos de intervalo que tiene cada uno de los modos de trabajo para enfocarlo al uso que se le va a dar. En este caso, para la realización de un ejercicio topográfico se hace necesario garantizar:

- Que se envíe únicamente las localizaciones referentes al punto topográfico que se quiere verificar que ha sido localizado.
- Que se fuerce al nodo a emitir una señal justo en la posición que se desee marcar.
- En caso de que el sujeto se mantenga estático un tiempo considerable, emita su ubicación debido a que podría significar que el alumno tuviese algún tipo de problema.

Por todo esto, para la configuración de los intervalos se han utilizado los siguientes comandos:

➤ **AT+TDC=43200000**

- Este comando configura el intervalo de transmisión del dispositivo cuando se encuentra en movimiento. Se ha establecido de esta manera para que el receptor no vaya marcando de manera continua a lo largo del recorrido, debido a que no tendría valor que el alumno pase por las inmediaciones del punto sin su conocimiento certero. Así, se podría discernir cuando el alumno ha querido realmente provocar la emisión.

➤ **AT+ACE=30000**

- Este comando establece el intervalo de tiempo de transmisión cuando se encuentra en el modo alarma. Estableciendo este tiempo se asegura que el tiempo que debe utilizar el alumno para marcar la posición que cree que es uno de sus puntos asignado será de menos de un minuto.

➤ **AT+KAT=360000**

- Este comando establece el intervalo de tiempo cuando el dispositivo está en estático. Que se encuentre en este estado, en medio de un recorrido topográfico, puede ser un indicio de que el alumno tenga algún tipo de problema. Es por ello por lo que empezará el dispositivo a marcar la posición en la que se encuentre para que pudiese acudir el profesorado.

3.4.3 Configuración para el tratamiento de datos

Una vez configurado el *Gateway* y los receptores dragino, se pasó a configurar los diferentes recursos software para el tratamiento de los datos que son recogidos por los receptores GPS y finalizan con su visualización en las diferentes herramientas gráficas.

Para ello, se sigue el siguiente proceso resumido. Los diferentes nodos finales envían los datos al *gateway*. Para su tratamiento se hace necesario la creación de un *broker* MQTT al cual se le envíen estos datos. Una vez pase esta información al *broker* este la reenviará a cada uno de los clientes que estén suscritos. El cliente fundamentalmente es Node-RED, el cual es el encargado de tratar todos estos datos y de almacenarlos en una base de datos que se materializa con InfluxDB. Por último, aparece Grafana, que utiliza esta base de datos de InfluxDB para presentar los diferentes datos en diferentes gráficas y mapas geográficos para la posterior evaluación de los recorridos topográficos.

Para conseguir todo esto se ha configurado de la siguiente manera:

Eclipse Mosquitto

Para implementar el protocolo MQTT a partir de Eclipse Mosquitto se debe instalar el archivo en el sitio web oficial de mosquitto [26]. Una vez instalado, se ha implementado una topología en estrella como la que se ve en Figura 3-12.

Se ha utilizado la IP 172.31.255.253 y el puerto 1883 para el *broker* MQTT.

La topología en estrella específica para este proyecto es la siguiente:

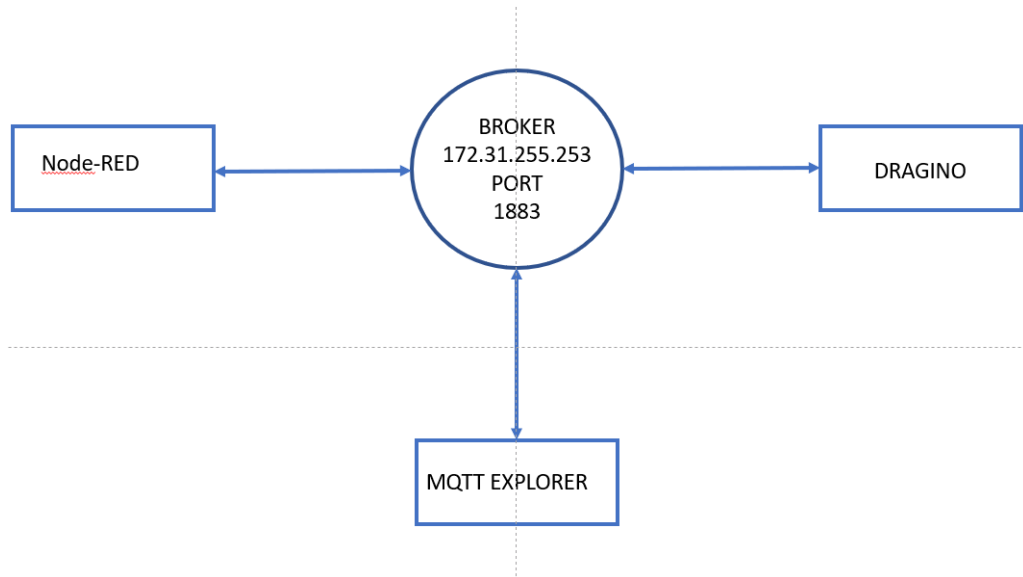


Figura 3-12 Topología MQTT

Los clientes son básicamente tres:

- Dragino, que hace referencia a la configuración del *Gateway* Dragino LPS8 que está recibiendo la información de los receptores. Una vez que la información llega al *gateway*, según la configuración que aparece en Figura 3-9, la envía al *broker* MQTT.
- Node-RED, obtiene del *broker* la información de los diferentes receptores. Tras recibirla la trata con los diferentes nodos que se han implementado para finalmente pasársela tanto a la base de datos, como al nodo de Worldmap para presentar en un mapa geográfico las diferentes ubicaciones dónde se han tomado las medidas.
- MQTT Explorer, que ha servido para facilitar una interfaz dónde poder realizar diferentes consultas necesarias a la hora de realizar comprobaciones acerca de las transmisiones que se estaban llevando a cabo a través del *broker* MQTT.

InfluxDB

Para el almacenamiento de todos los datos se ha utilizado una base de datos de InfluxDB. Se utilizó principalmente por ser software de código abierto, y porque es una herramienta propicia para almacenar datos de sensores que se han ido tomando a lo largo del tiempo.

Para su instalación se debe descargar el archivo comprimido que se encuentra en el sitio web oficial de influxdb. En este caso se descargó la versión 1.8.10-1 para Windows de 64 bits. Una vez descargado se descomprimiría el archivo en los siguientes:

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
influx	11/10/2021 18:16	Aplicación	52.480 KB
influx_inspect	11/10/2021 18:16	Aplicación	19.454 KB
influx_stress	11/10/2021 18:16	Aplicación	11.777 KB
influxd	11/10/2021 18:16	Aplicación	64.690 KB
influxdb.conf	11/10/2021 18:16	Archivo CONF	22 KB

Figura 3-13 Carpeta Influxdb descarga

Se ejecutaría el archivo influxd para acceder al servicio de la base de datos como muestra en la imagen:

```

Microsoft Windows [Versión 10.0.19043.1466]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\jesus>cd Desktop
C:\Users\jesus\Desktop>cd influxdb-1.8.10-1
C:\Users\jesus\Desktop\influxdb-1.8.10-1>influxd.exe

88888888      .d888 888                88888888b. 888888b.
888          d88P" 888                888 "Y88b 888 "88b
888          888  888                888  888 888 .88P
888 888888b. 888888 888 888 888 888 888 888 88888888K.
888 888 "88b 888 888 888 888 Y8bd8P' 888 888 888 "Y88b
888 888 888 888 888 888 888 X88K 888 888 888 888
888 888 888 888 888 Y88b 888 .d8""8b. 888 .d88P 888 d88P
88888888 888 888 888 888 "Y88888 888 888 88888888P" 88888888P"

2022-03-12T11:06:22.132159Z info InfluxDB starting {"log_id": "0_BSlxC1000", "version": "1.8.10", "branch": "1.8", "commit": "688e697c51fd"}
2022-03-12T11:06:22.134146Z info Go runtime {"log_id": "0_BSlxC1000", "version": "go1.13.8", "maxprocs": 8}
2022-03-12T11:06:22.322474Z info Using data dir {"log_id": "0_BSlxC1000", "service": "store", "path": "C:\\Users\\jesus\\.influxdb\\data"}
2022-03-12T11:06:22.323470Z info Compaction settings {"log_id": "0_BSlxC1000", "service": "store", "max_concurrent_compactions": 4, "throughput_bytes_per_second": 50331648, "throughput_bytes_per_second_burst": 50331648}
2022-03-12T11:06:22.324468Z info Open store (start) {"log_id": "0_BSlxC1000", "service": "store", "trace_id": "0_BSlxy0000", "op_name": "tsdb_open", "op_event": "start"}
2022-03-12T11:06:22.900163Z info Opened file {"log_id": "0_BSlxC1000", "engine": "tsm1", "service": "filestore", "path": "C:\\Users\\jesus\\.influxdb\\data\\_internal\\monitor\\9\\000000002-000000001.tsm", "id": 1, "duration": "28.940ms"}
  
```

Figura 3-14 Influxd ejecutándose

Una vez está el servicio activo se pasaría a la ejecución del cliente Influx.exe. Con este se procedería a incluir los comandos para crear las diferentes bases de datos que interese. En este caso se crearon la base de datos test en la que hice una serie de pruebas de comprobación, y la base de datos tracking para los receptores GPS. Además, se pueden ejecutar diferentes comandos como ver series, eliminar base de datos, consultar valores, etc.

```
Símbolo del sistema - influx.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19043.1466]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\jesus>cd Desktop

C:\Users\jesus\Desktop>cd influxdb-1.8.10-1

C:\Users\jesus\Desktop\influxdb-1.8.10-1>influx.exe
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.10
InfluxDB shell version: 1.8.10
> show databases
name: databases
name
----
internal
tracking
test
```

Figura 3-15 Interfaz programa cliente InfluxDB

Node-RED

Para la programación se seleccionó utilizar la herramienta Node-RED principalmente porque facilita en gran medida la programación por lo intuitiva que resulta y no se necesita de un gran conocimiento sobre programación para obtener los resultados buscados. Además, se integra perfectamente con el protocolo MQTT.

Para instalarlo requiere la instalación de NodeJS disponible en el sitio web oficial [27]. En este caso se instaló la versión de 64 bits.

Una vez instalado se hace necesario en el archivo *node.js command prompt*, utilizar el siguiente comando para iniciar la instalación de todos los paquetes necesarios y así poder ejecutar el entorno de trabajo de Node-RED:

➤ `npm install -g -unsafe-perm node-red`

. Para habilitar la interfaz de Node-RED únicamente es necesario lanzar el archivo *node-red.exe* y se tendrá acceso por medio del navegador con la IP que hace referencia al entorno local y con el puerto que se ha asignado. Por defecto Node-RED usa el puerto 1883.

```
node-red
C:\Users\jesus\AppData\Roaming\npm>node-red
13 Mar 17:08:36 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

13 Mar 17:08:36 - [info] Node-RED version: v2.1.5
13 Mar 17:08:36 - [info] Node.js version: v16.13.2
13 Mar 17:08:36 - [info] Windows_NT 10.0.19043 x64 LE
13 Mar 17:08:37 - [info] Loading palette nodes
13 Mar 17:08:38 - [info] Worldmap version 2.27.0
13 Mar 17:08:38 - [info] Node-RED Dashboard not found - ui_worldmap not installed.
13 Mar 17:08:38 - [info] Settings file : C:\Users\jesus\.node-red\settings.js
13 Mar 17:08:38 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
13 Mar 17:08:38 - [info] User directory : \Users\jesus\.node-red
13 Mar 17:08:38 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
13 Mar 17:08:38 - [info] Flows file : \Users\jesus\.node-red\flows.json
13 Mar 17:08:39 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
13 Mar 17:08:39 - [info] Starting flows
13 Mar 17:08:39 - [info] [worldmap:5fc72ac8cca62282] started at /worldmap
13 Mar 17:08:39 - [info] [worldmap:ddc899c12c707523] started at /worldmap
13 Mar 17:08:39 - [info] [worldmap:d523bd696cfb05ca] started at /worldmap
13 Mar 17:08:39 - [info] [worldmap:e5d59c68f8bef00f] started at /worldmap
13 Mar 17:08:39 - [info] Started flows
13 Mar 17:08:39 - [info] [mqtt-broker:a177537badedc1d8] Connected to broker: mqtt://127.31.255.253:1883
```

Figura 3-16 Node-RED ejecutándose

Para este proyecto se utilizaron una serie de nodos de entrada, procesamiento y de salida para conformar lo que se denomina un Flow que es capaz de pasar de una información de entrada, recibida a través del *broker* MQTT, a una información de salida hacia la base de datos de InfluxDB para más tarde usarla en Grafana.

Los nodos que se han utilizado han sido:

- MQTT IN node.
- *Function* node.
- Worldmap node.
- Influxdb out node.
- Debug node.

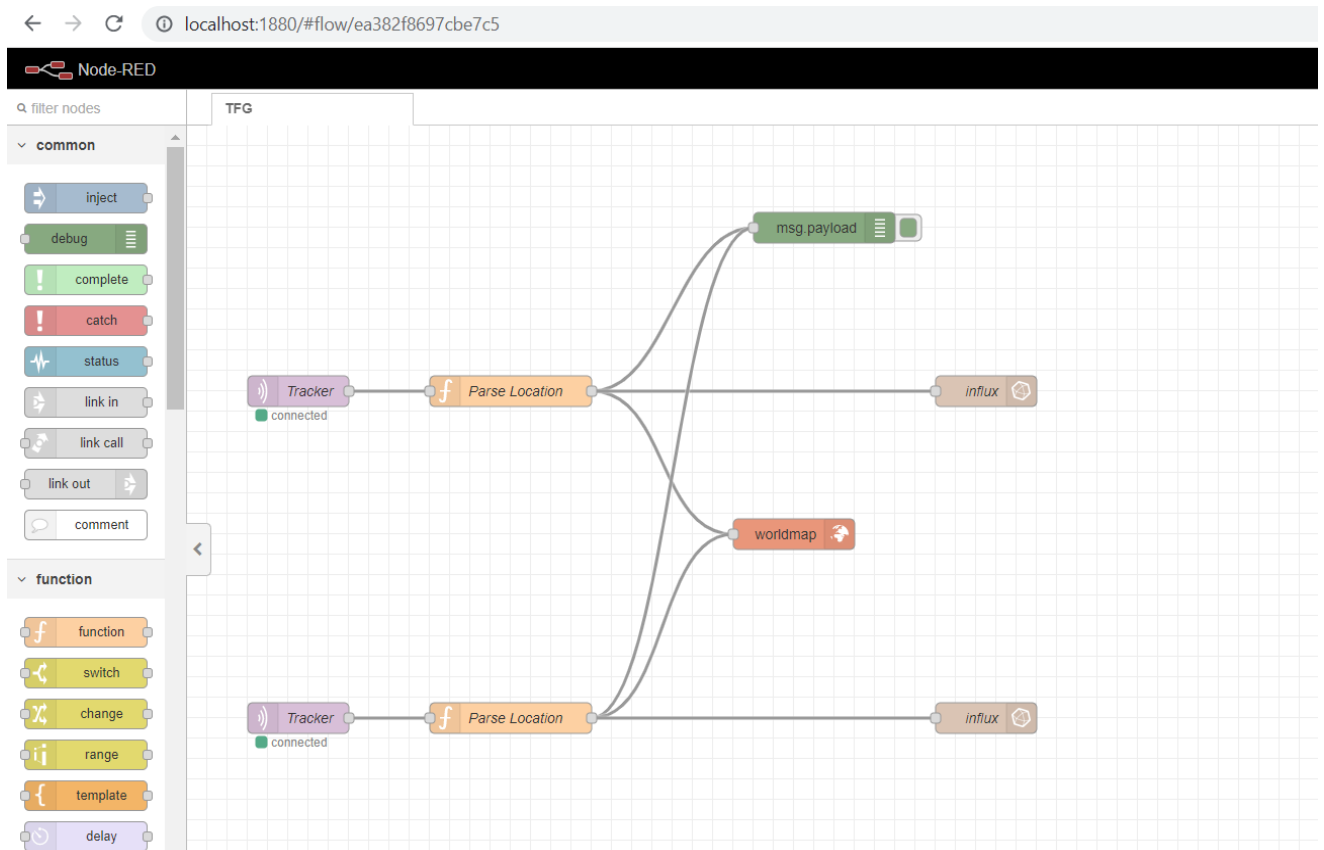
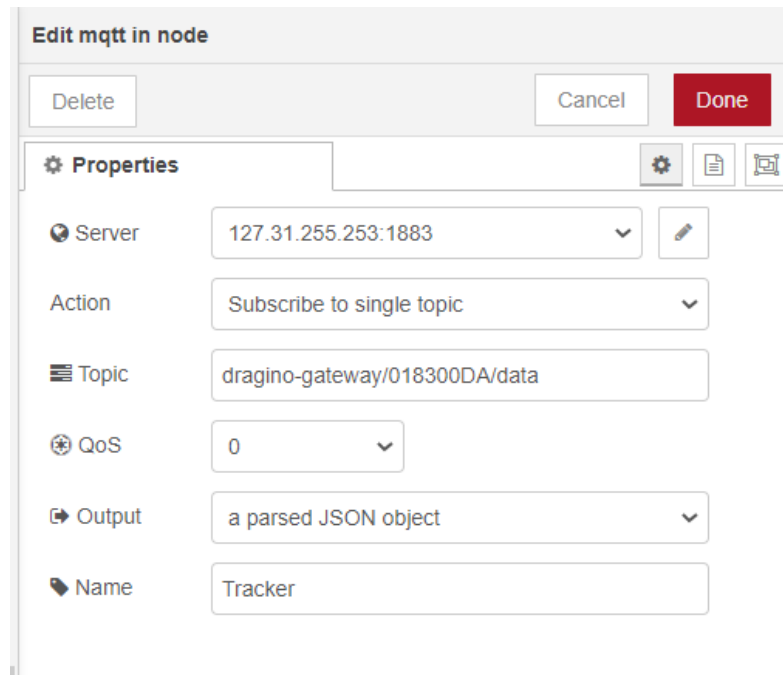


Figura 3-17 Flow Node-RED utilizado

- MQTT IN, que tiene el indicativo de *Tracker* en la Figura 3-17, es el nodo para introducir toda la información que entrega el *broker* MQTT a Node-RED como cliente suscrito a los *topics* relacionados con cada uno de los receptores Dragino. Se utilizan dos, uno por cada receptor GPS. Para su configuración hay que indicar el *broker* al que se está conectando, que en este caso es dirección IP 127.31.255.253 con el puerto 1883. A continuación, se muestra la configuración de ambos nodos:



Edit mqtt in node

Delete Cancel Done

Properties

Server 127.31.255.253:1883

Action Subscribe to single topic

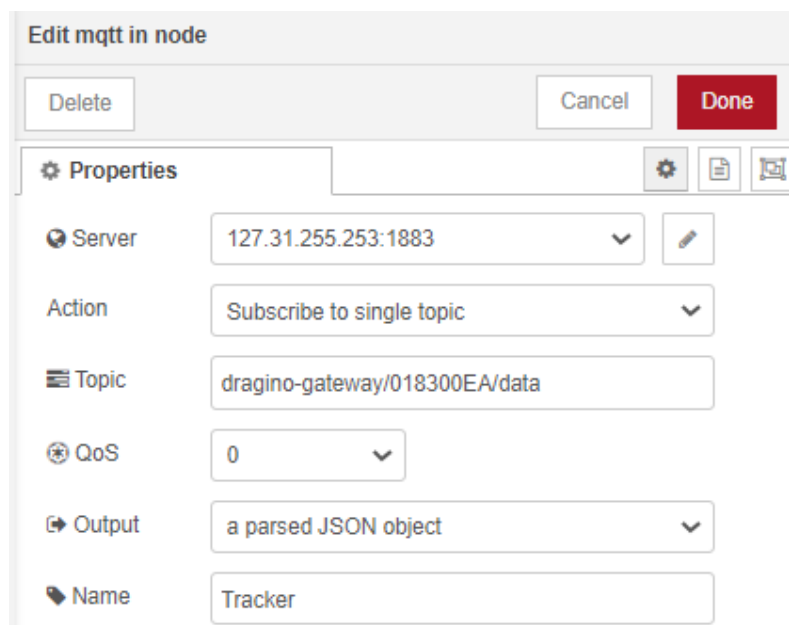
Topic dragino-gateway/018300DA/data

QoS 0

Output a parsed JSON object

Name Tracker

Figura 3-18 Configuración nodo MQTT in tracker 018300DA



Edit mqtt in node

Delete Cancel Done

Properties

Server 127.31.255.253:1883

Action Subscribe to single topic

Topic dragino-gateway/018300EA/data

QoS 0

Output a parsed JSON object

Name Tracker

Figura 3-19 Configuración nodo MQTT in tracker 018300EA

- *Function*, que tiene el indicativo de *Parse Location*, trata de la información recibida del broker MQTT para entregarla a la base de datos tracking y al nodo de Worldmap.

Para ello:

- Establece los valores que interesan ser guardados para el objeto del proyecto.
- Personaliza la manera en la que se van a marcar los diferentes puntos en el nodo de Worldmap.
- Se filtran los posibles datos no deseados. Esta necesidad nace debido a un problema que surgió a lo largo del desarrollo. Este era relacionado a que una parte de los envíos de datos del receptor venían sin información GPS debido a que los receptores no habían sido capaz de fijar con la constelación Navstar o bien porque entendía que

la precisión no estaba dentro de unos parámetros aceptables para entregar la información GPS. Por ello, también en este nodo, en el caso de que la información de latitud y longitud no estuviese correcta se desecharía el envío y no se almacenaría en la base de datos ni se le enviaría al nodo de Worldmap.

La configuración de cada uno de los nodos *function* es:

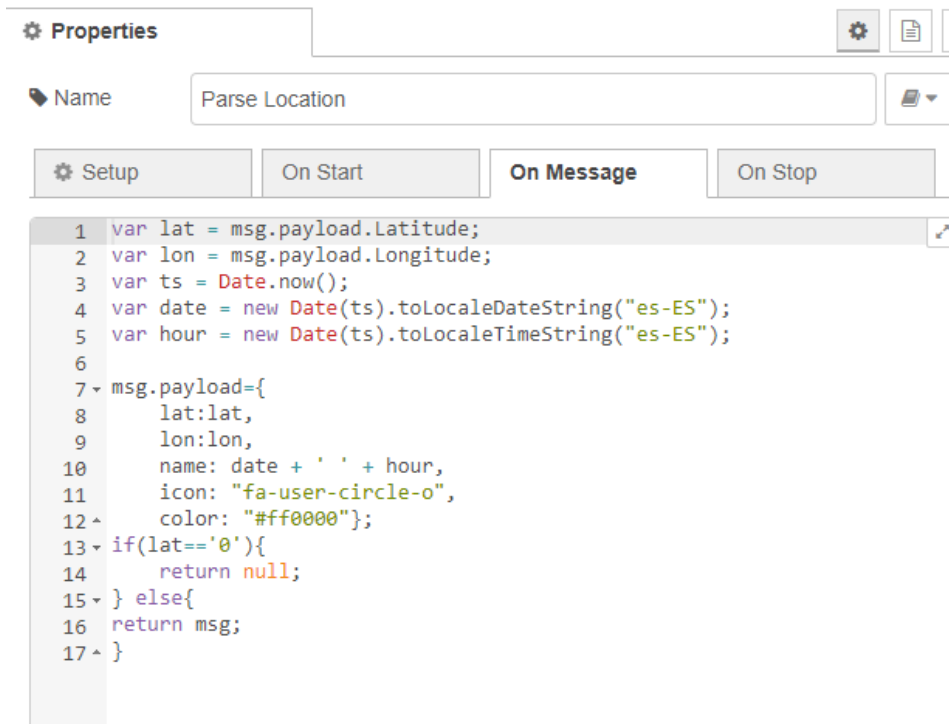


Figura 3-20 Configuración nodo *function* del tracker 018300DA

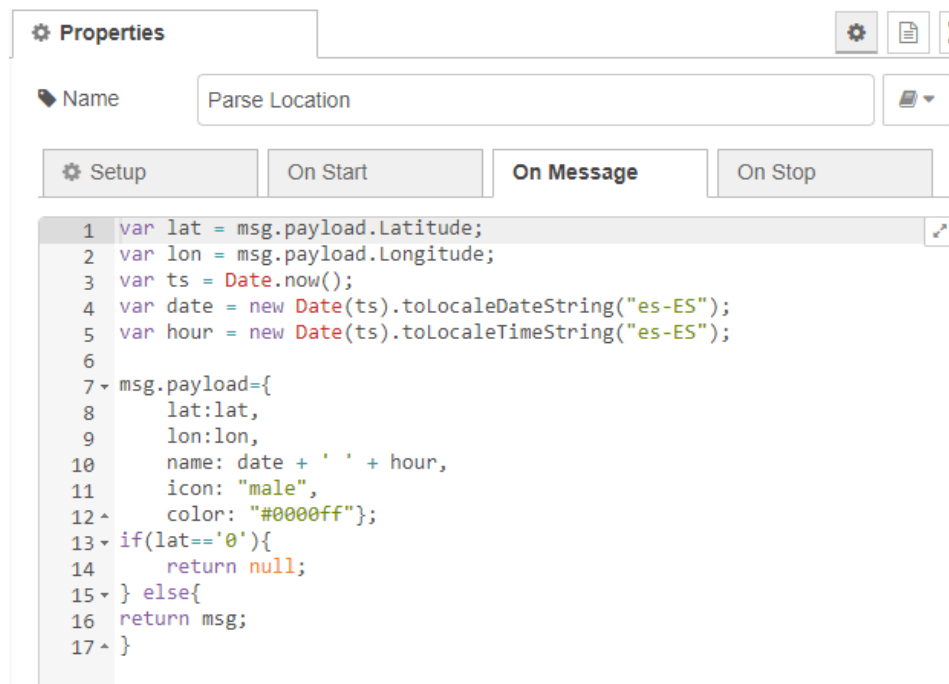


Figura 3-21 Configuración nodo *function* del tracker 018300EA

- Worldmap, es nodo con el que cuenta Node-Red para representar en un mapa los puntos geográficos desde los cuáles se ha emitido con los diferentes *tracker*. Esto los marca a partir de los datos de latitud y longitud que está recogiendo del nodo MQTT in. Tiene gran cantidad de mapas para elegir. Para este proyecto se seleccionaron los siguientes:
 - OpenStreetMap, que hará de mapa base.
 - ESRI Streetmap.
 - ESRI Satellite.
 - ESRI Topography.

Para visualizar el resultado únicamente hay que pulsar ctrl-shift-m.

Figura 3-22 Configuración nodo Worldmap

- Influxdb out node, es un nodo para entregar todos los datos válidos a la base de datos que se ha creado con InfluxDB para posteriormente poder incluirlos en las gráficas de Grafana. En el apartado de *Database* se debe escribir el nombre de la base de datos previamente creada, que en este caso es la base de datos *tracking*.

Figura 3-23 Configuración Influx out node para *tracker 018300DA*

Figura 3-24 Configuración Influx out node para *tracker 018300EA*

- *Debug node*, que tiene el indicativo de *msg.payload*, es un nodo que simplemente se utilizó para que los mensajes recibidos se plasmaran en la consola del propio Node-RED para realizar comprobaciones del correcto funcionamiento de los diferentes nodos.

Grafana

Tras esto se pasó a la instalación de Grafana. Para ello, se descarga el instalador desde el sitio web oficial de Grafana [28]. Una vez instalado, este se ejecuta de forma predeterminada en el puerto 3000, y se puede acceder mediante el navegador con la IP localhost.

Cuando se accede por primera vez pide un usuario y contraseña que por defecto son ambos *admin*.

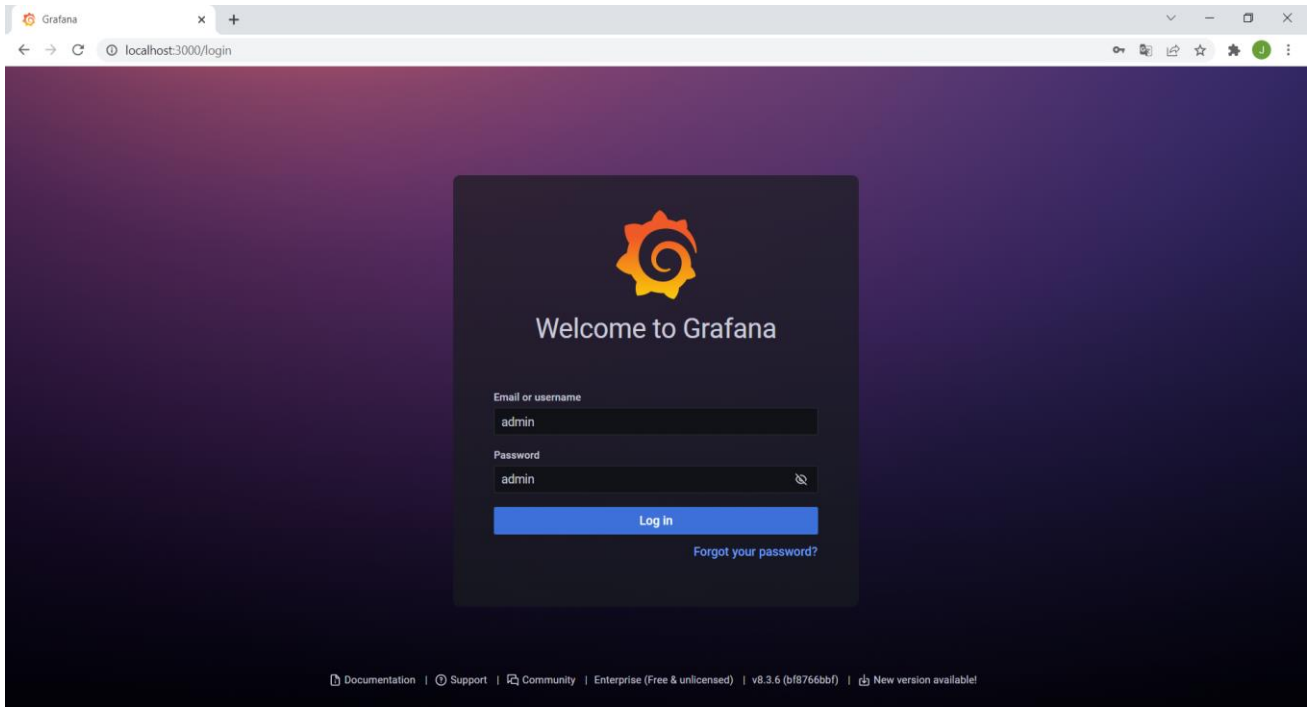


Figura 3-25 Interfaz inicio sesión Grafana

Una vez introducido exige un cambio de contraseña. Tras cambiarla, aparece el panel de control de Grafana. Desde este, el primer paso para trabajar es la base de datos que se ha creado dentro de Grafana. Para ello en la configuración hay que habilitar a influxdb añadiendo una nueva base de datos. En este caso se configuró como se muestra a continuación.

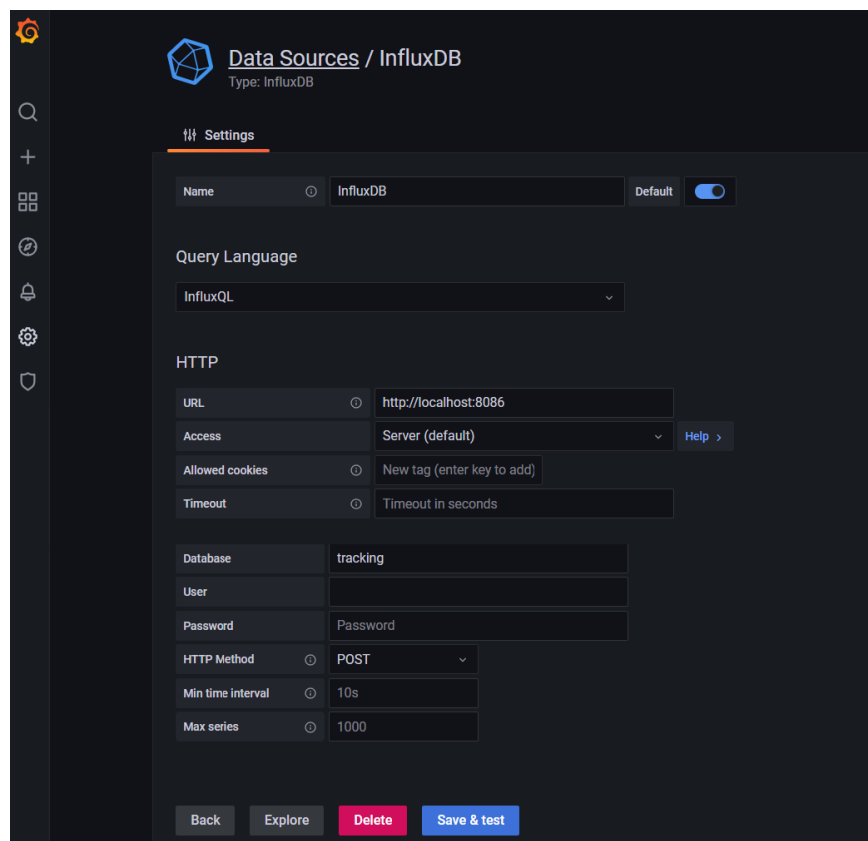


Figura 3-26 Añadiendo base de datos Tracking a Grafana

Una vez que se ha añadido la base de datos que se ha creado con Influxdb de nombre tracking, se pasaría a configurar una *drashboard* para la visualización de los datos recogidos.

Para esta configuración se ha elegido por utilizar un *plugin* llamado TrackMap el cual facilita la visualización sobre un mapa. Este cuenta con diferentes capas como:

- OpenStreetMap.
- OpenTopoMap.
- Capa de imágenes de satélite.

Los diferentes puntos se pueden personalizar con diferentes colores, y se puede unir según el orden en el que se han emitido.

Para la evaluación de los diferentes recorridos se crea un panel por cada dispositivo *tracker*. De esta manera, si bien se podrían colocar todos en un mismo panel, obtendría una representación más clara de cada uno de los recorridos. Además, cada panel cuenta con la posibilidad de consultar los recorridos por intervalos de tiempo.

Los paneles se configuraron como muestra la Figura 3-27.

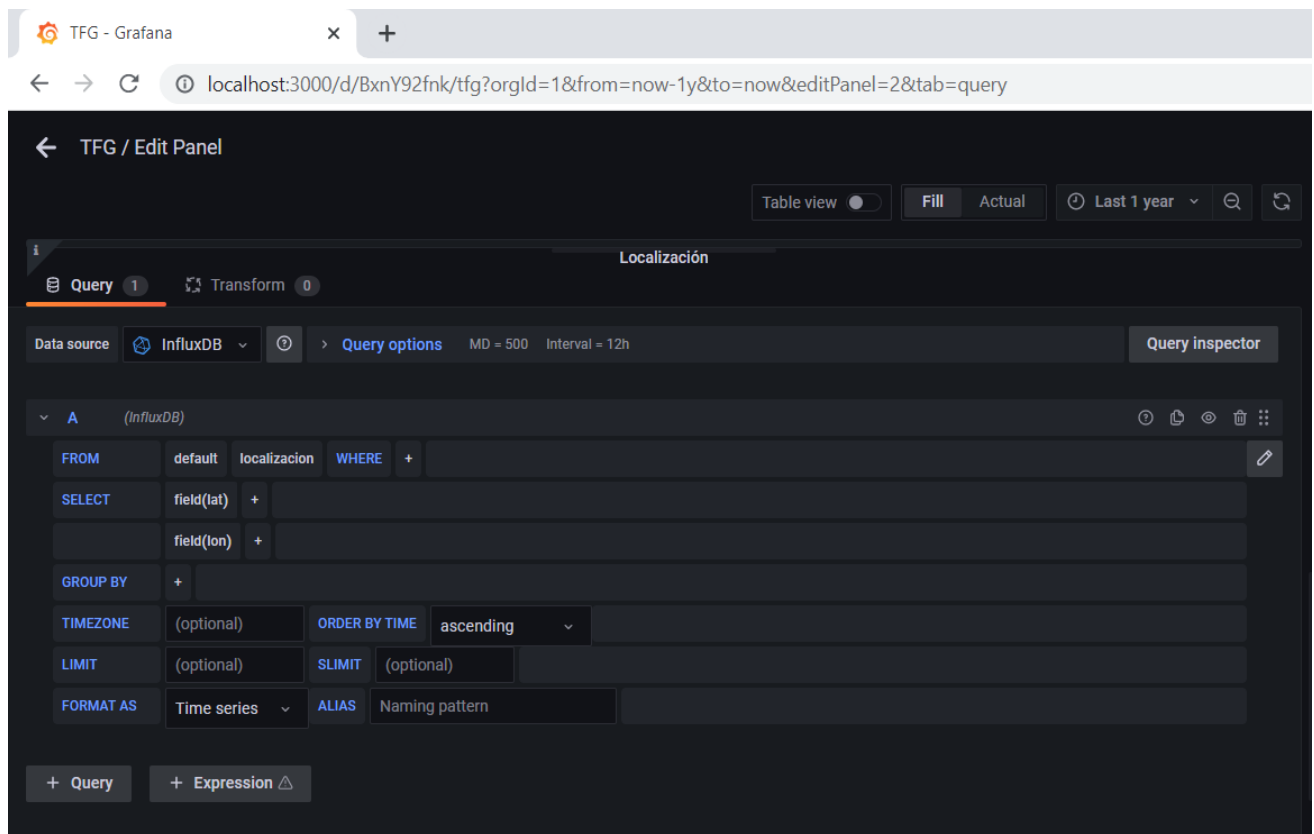


Figura 3-27 Configuración panel *plugin* Trackmap

4 PRUEBAS DE VALIDACIÓN

En este cuarto capítulo, se presentarán las diversas pruebas que se han llevado a cabo para evaluar la fiabilidad y efectividad del diseño del sistema, de cara a posibilitar su posterior aplicación en la evaluación de los recorridos topográficos que llevan a cabo los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar.

4.1 Prueba en la Escuela Naval Militar

Para la primera prueba realicé una simulación de un ejercicio topográfico en la Escuela Naval Militar. Para ello previamente elegí nueve puntos del terreno, los cuales se ven representado en la Figura 4-1. Posteriormente, desde ellos se provocarían una emisión con el receptor GPS. Esta, debía ser recibida por medio de la antena que estaba colocada encima de mi vehículo personal que se encontraba en la explanada de la escuela como se aprecia en la Figura 4-2. Luego lo comprobé valiéndome de la base de datos de Influxdb, y de las herramientas gráficas que me proporcionan node-RED con el nodo Worldmap y el *plugin* Trackmap de Grafana.



Figura 4-1 Puntos seleccionados de la Escuela Naval Militar



Figura 4-2 Sistema montado sobre vehículo

Una vez realizado el recorrido topográfico, se ha utilizado tanto Grafana como el Worldmap de Node-RED para la visualización de los diferentes resultados que se aprecian en la Figura 4-3 y en la Figura 4-4, dónde se puede ver la secuencia de las emisiones que fueron provocadas en los diferentes puntos.

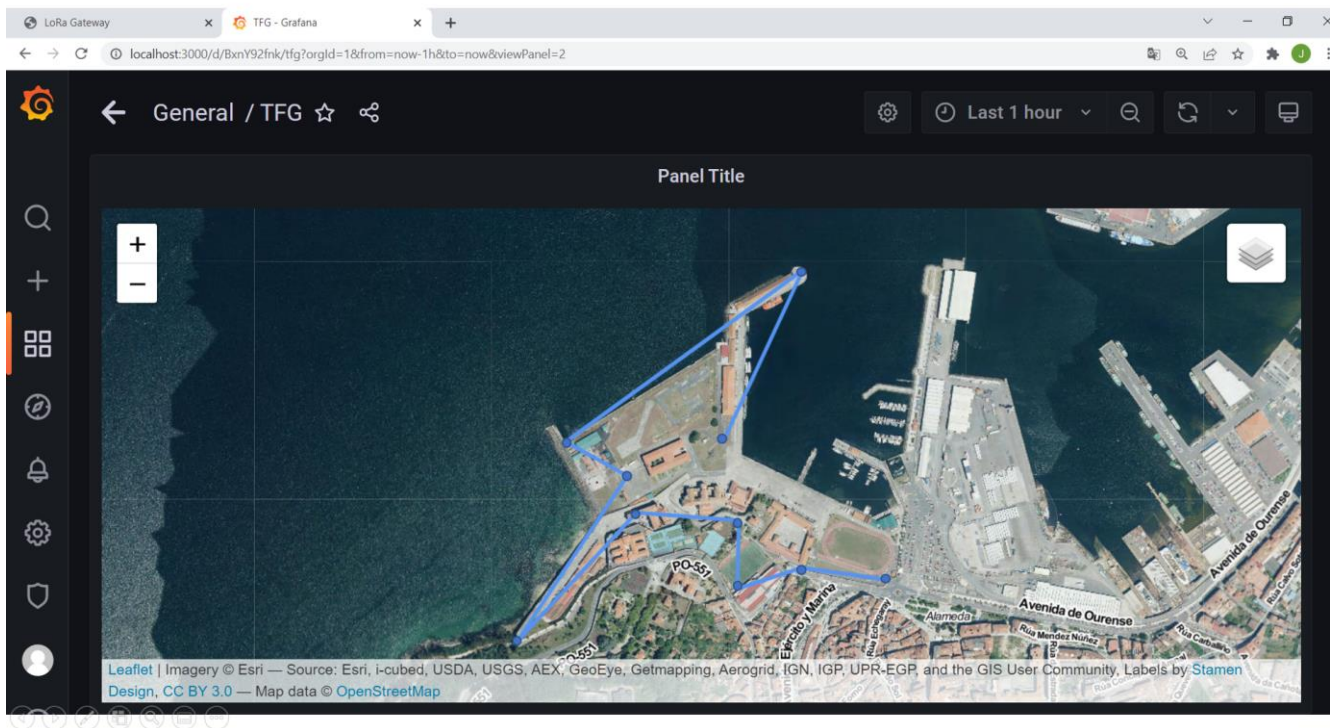


Figura 4-3 Visualización del resultado con Grafana

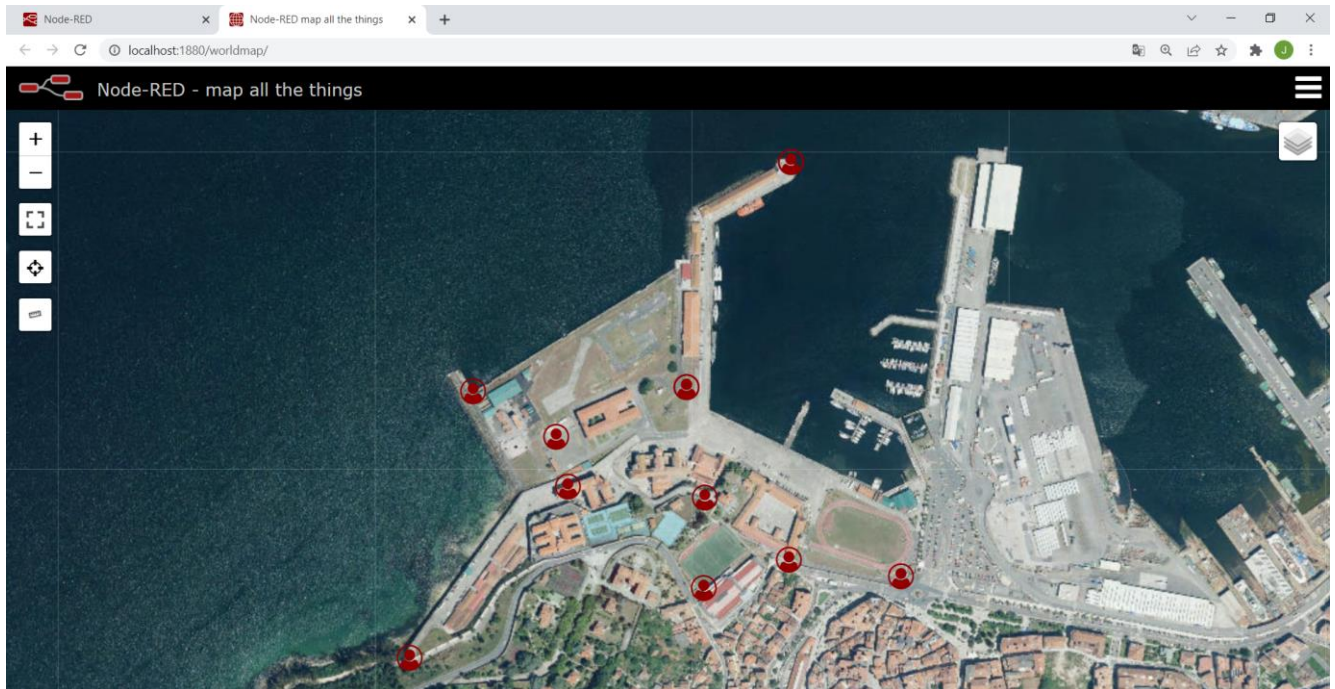


Figura 4-4 Visualización del resultado con Node-RED

De esta prueba se pudo comprobar los siguientes aspectos:

- Las emisiones pudieron solventar sin ningún problema las diferentes edificaciones que se encontraban en la mayoría de los puntos como en el caso del punto número 5 que se emitió desde la parte trasera del cuartel Méndez Núñez o el punto número 8 que se emitió desde la esquina de la farmacia que se encuentra en la escuela.
- La distancia máxima en la que se estableció enlace fue de 550 metros, correspondiente al punto número 4.
- La configuración del *tracker* se realizó correctamente produciéndose sólo la emisión cuando se interesaba.
- Se puede consultar con gran facilidad los diferentes puntos marcados mediante la utilización del *plugin* Trackmap de Grafana mediante la selección de la franja de tiempo de interés.

4.1.1 Problemas encontrados

Para la realización de la prueba utilicé la aplicación de TeamViewer para la comprobación continua del sistema. A raíz de esta comprobación se encontró el siguiente problema:

- Cuando se provocaba una emisión del *tracker* mediante el botón de alarma llegaba hasta el *gateway*, pero con la información GPS vacía.

En primera instancia se intentó resolver modificando el parámetro configurable del *tracker* relacionado al PDOP. Este término, de sus siglas en inglés, *Position Dilution of Precision*, es un valor que expresa el error causado por la posición relativa de los satélites GPS. Por defecto, esta tiene valor 3 por lo que filtraría el resto de los valores peores de este rango.

Tras modificar este parámetro seguía produciéndose el mismo fenómeno por lo que no se estaba produciendo por este motivo.

De aquí se extrajo la siguiente conclusión; siempre que se pulsa el botón de alarma y se provoca la emisión, va a llegar la información incompleta por lo que hay que esperar hasta la siguiente emisión para poder enviar toda la información al completo.

4.2 Prueba autonomía

Uno de los requisitos indispensables para que el sistema pueda amoldarse a las características intrínsecas de los recorridos topográficos, es que los dispositivos que utilicen los alumnos garanticen una autonomía suficiente para los ejercicios.

Por norma general, la realización de un recorrido topográfico tiene una duración de alrededor de 7 horas. Sin embargo, en las semanas de Instrucción y Adiestramiento que toman lugar a lo largo del curso académico, se podrían programar salidas de mayor duración, pudiendo durar hasta 12 horas.

Hay que tener en cuenta, que el consumo de batería depende del modo en el que se encuentre configurado el *tracker*. Para la realización de los recorridos topográficos se ha configurado de tal manera que durante las horas que dure el ejercicio solo se emiten paquetes cuando le interese al alumno. Por norma general, estos serán entre 8 o 10 paquetes para ejercicios cortos, y entre 16 y 20 para ejercicios largos.

Sin embargo, para la realización de la prueba, se ha puesto en marcha un *tracker* para que estuviese enviando paquetes al *gateway* por un periodo de 42 horas, con un intervalo de 3 minutos entre envíos.

Para ello se configuró el *tracker* y se implementó el siguiente *flow* de Node-RED (Figura 4-5), el cual almacena la información que envía el *tracker* sobre su nivel de batería en la base de datos creada con InfluxDB, para posteriormente, visualizar el resultado en la gráfica de Grafana que se muestra en la Figura 4-6.

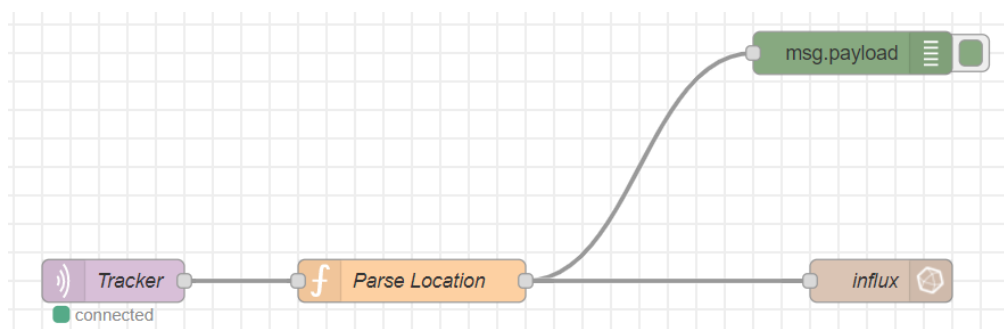


Figura 4-5 Flow Node-RED prueba de autonomía

De esta prueba se extrajeron los siguientes resultados:

- Durante las 42 horas ininterrumpidas que duró la prueba, el *tracker* llevó a cabo el envío de más de 800 paquetes. Esto supuso una carga de trabajo 3,5 veces superior en tiempo, y 40 veces superior en envío de paquetes, de lo que supondría un recorrido topográfico prolongado.
- El porcentaje de batería bajó de un 100% al inicio de la prueba, hasta un 30% al final.

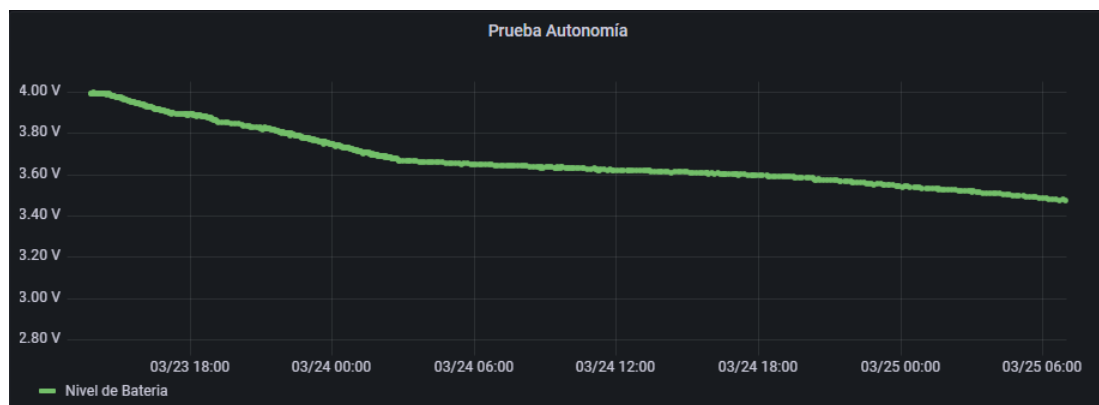


Figura 4-6 Resultado prueba de autonomía con Grafana

4.3 Prueba a larga distancia

La siguiente prueba se realizó para ver el comportamiento del sistema en un ambiente dónde apenas hubiese accidentes geográficos que pudiesen interferir. Para ello se colocó la antena con el *gateway* y el ordenador en el muelle de torpedos, para posteriormente intentar dos emisiones desde dos ubicaciones distintas.

- Una primera en la que se emitió una señal desde el puente de las Corrientes de Pontevedra. Este se encuentra a una distancia total en línea recta de 6,3 kilómetros de distancia.
- La segunda se emitió desde el monte de las Pías el cual se encuentra en Pontevedra al Este de O Castelo. Se encuentra a una distancia total de 10,1 kilómetros. Esta emisión no pudo ser recibida por el sistema.

4.3.1 Prueba desde el puente de las Corrientes

Para llevar a cabo la prueba se posicionó la antena con el *gateway* en el muelle de torpedos con la finalidad de que tuviese el mayor campo visual con el puente de las Corrientes, el cual se encuentra a una distancia de 6,3 kilómetros. Una vez activado el sistema, se trasladó uno de los *tracker* hacia el puente para intentar enlazar. Para la comprobación simultanea también se volvió a usar la aplicación de TeamViewer.

A continuación, se muestra una panorámica y el perfil de elevación entre ambas ubicaciones del enlace que se llevó a cabo además de los resultados obtenidos expuestos mediante el *plugin* Trackmap de Grafana.

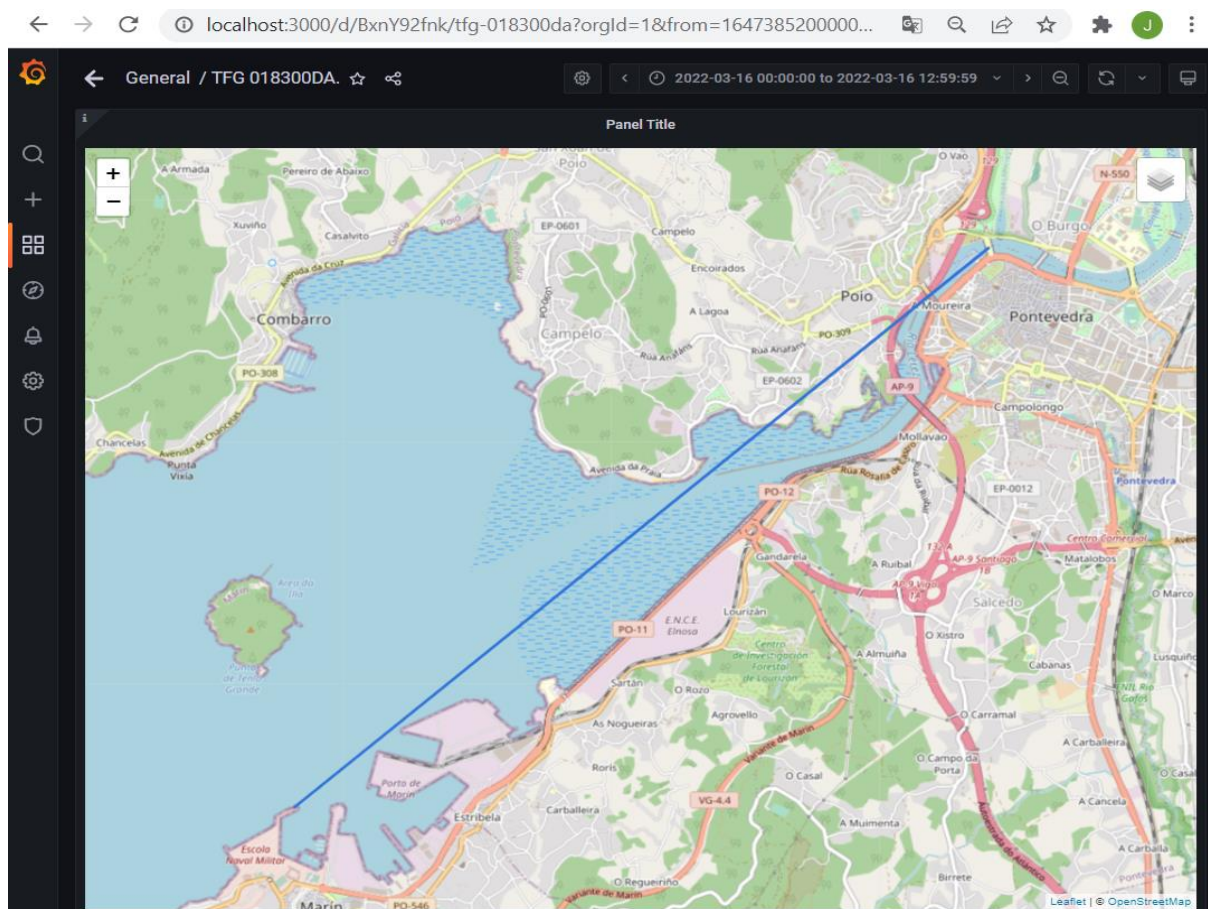


Figura 4-7 Resultado en Grafana



Figura 4-8 Panorámica emisión



Figura 4-9 Perfil de elevación entre muelle torpedos y puente de las Corrientes (Google Earth)

De esta prueba se pudo extraer que el sistema es capaz de funcionar en un radio de acción de 6 kilómetros, siempre y cuando desde el punto en el que se quiere enlazar no tenga apenas accidentes geográficos en medio que puedan interceder en el enlace.

4.4 Prueba Lago Castiñeiras

La siguiente prueba se realizó en las inmediaciones del lago Castiñeiras. Consistió en la selección en una serie de posibles puntos característicos del terreno que pudieran servir para realizar recorridos topográficos. Se seleccionaron un total de 15 puntos entre los que había cotas, collados, espolones, cruce de caminos, vaguadas, etc., los cuales se repartieron entre ambos *tracker* para simular la realización de dos recorridos topográficos por parte de dos alumnos diferentes.

Para ello se puso a funcionar el sistema en un punto dominante de la zona del lago Castiñeiras. Este punto fue el Mirador de Coto Redondo que se encuentra a una cota de 531 metros. En esa posición se dejó el *gateway* con el ordenador y la antena montada sobre vehículo como se muestra en la Figura 4-10 Sistema montado sobre vehículo en Mirador de Coto Redondo.



Figura 4-10 Sistema montado sobre vehículo en Mirador de Coto Redondo

Una vez estaba funcionando el sistema se procedió a realizar ambos recorridos.

Para exponer los resultados se ha utilizado:

- La visualización de los diferentes puntos que han sido punteados con el nodo de Worldmap que ofrece Node-RED.
- Una visión general del recorrido que se ejecutó mediante la visualización de mapa geográfico que ofrece el *plugin* de Trackmap de Grafana.
- Una tabla por cada uno de los puntos desde los que se emitió donde se expresan:
 - Identificación del punto característico del terreno al que se refiere.
 - Coordenadas teóricas del punto en el que se ha efectuado la emisión.
 - Coordenadas que han sido recibidas durante la realización de la prueba.
 - Diferencia entre las coordenadas teóricas con las realmente recogidas.
 - Perfil de elevación de cada punto con respecto a dónde se encontraba ubicada la antena en el mirador.

- Una imagen visual que facilita la visión de la precisión con la que se ha ejecutado la emisión.

Las coordenadas que se reflejan en las diferentes tablas son del sistema de referencia ETRS89 con coordenadas UTM en el huso 29. Las coordenadas teóricas se han extraído del Instituto Geográfico Nacional [29]. Las coordenadas que ambos *tracker* envían se encuentran en coordenadas geográficas por lo que fueron transformadas a UTM mediante la calculadora geodésica con la que cuenta este mismo instituto [30].

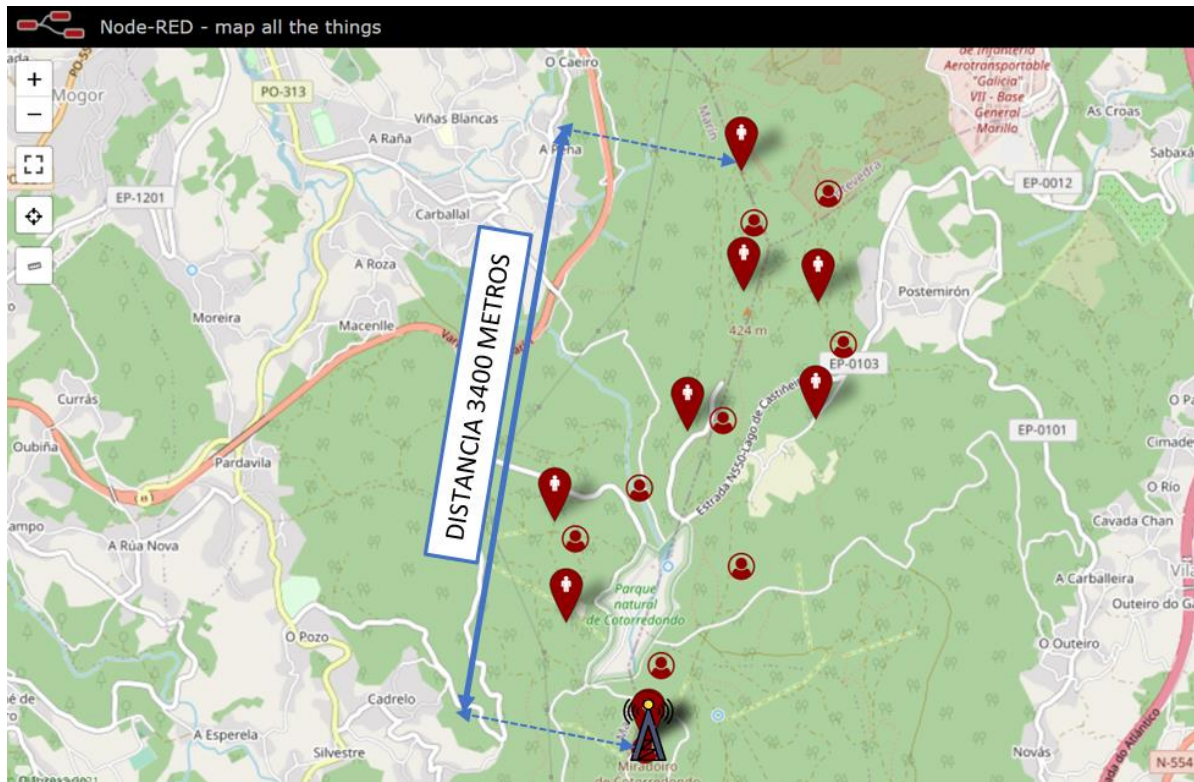


Figura 4-11 Puntos emitidos por ambos *tracker* (Worldmap de Node-RED)

4.4.1 Resultado Tracker 018300DA

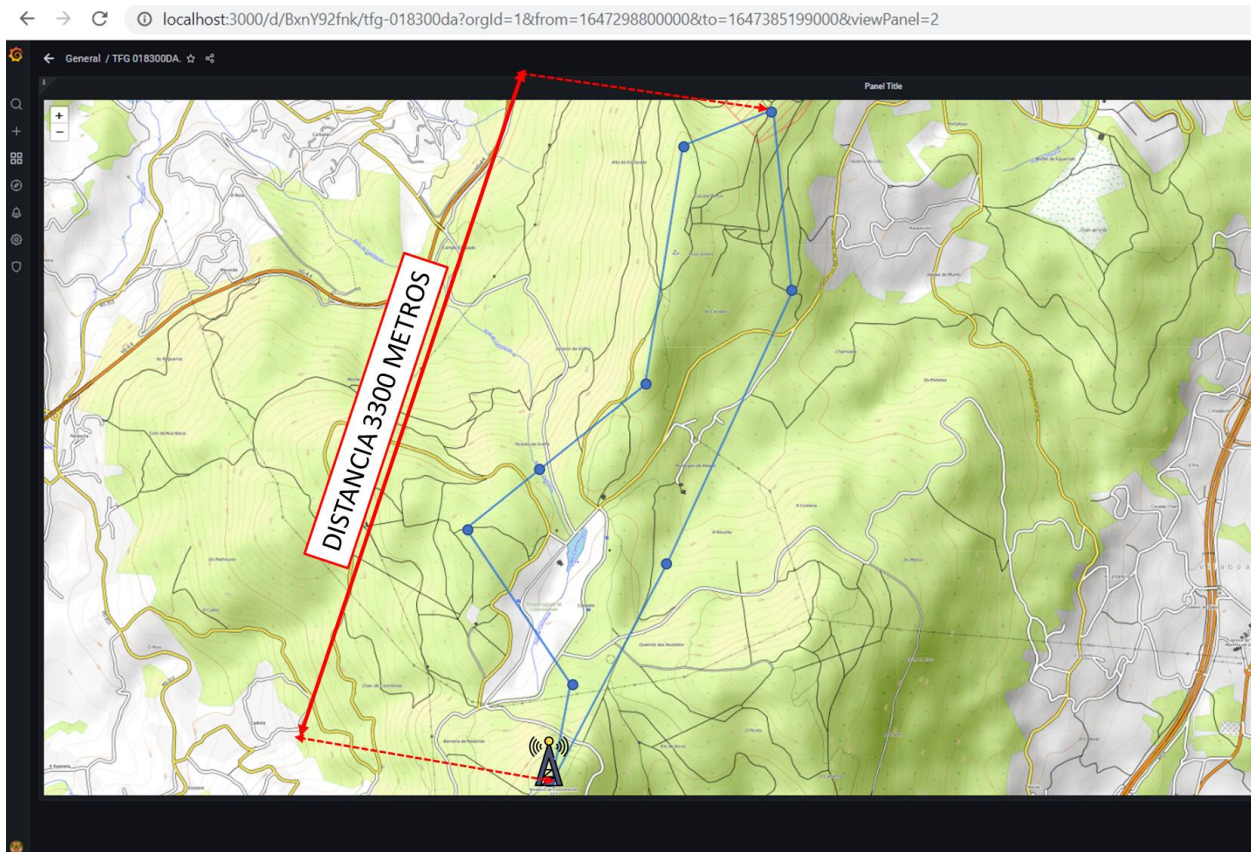


Figura 4-12 Recorrido Tracker 018300DA (Grafana)

- Punto C1, cota 431:

C1 COTA 340			
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEÓRICA (ETRS89)	
526 782,72	4 689 509,947	526 777,75	4 689 497,16
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix).			
Punto violeta: Tracker. Punto azul: Teórico.			

Tabla 2 Cota 340 C1

- Punto L1, collado 438:

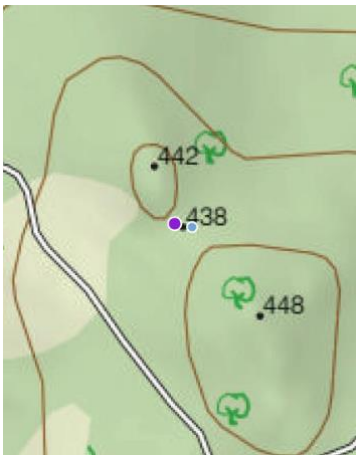
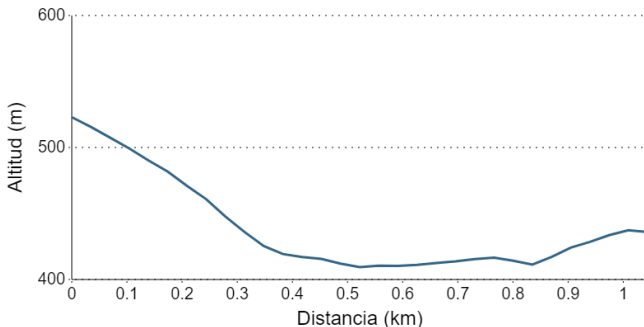
L1 COLLADO 438					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	13,1 m
526 319,810	4 690 189,074	526 331,97	4 690 184,20	 Punto violeta: Tracker. Punto azul: Teórico.	
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					

Tabla 3 Collado 438 L1

- Punto V1, cruce curva nivel 350 con vaguada:

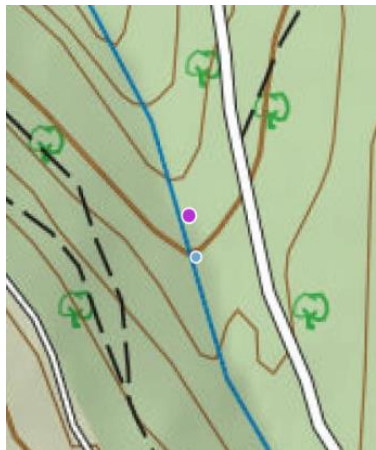
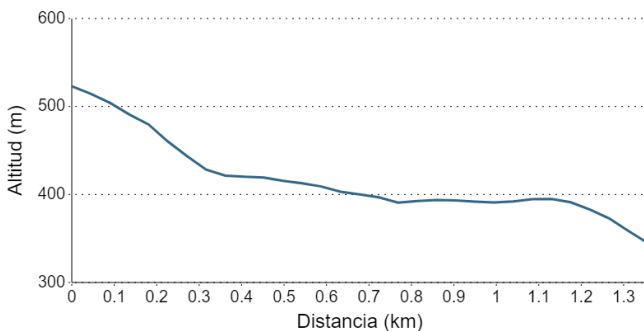
V1 CURVA DE NIVEL 350 CON VAGUADA					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	20,7 m
526 660,76	4 690 461,740	526 662,69	4 690 441,18	 Punto violeta: Tracker. Punto azul: Teórico.	
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					

Tabla 4 Curva de nivel 350 con vaguada V1

- Punto E1, espolón 416.

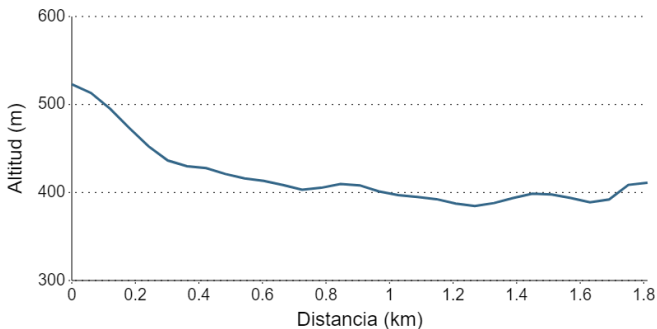
E1 ESPOLON 416					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	12,4 m
527 108,11	4 690 825,441	527 102,47	4 690 836,45	 Punto violeta: <i>Tracker</i>. Punto azul: Teórico.	
Perfil de Elevación Antena-<i>Tracker</i> (Iberpix). 					

Tabla 5 Espolón 416 E1

- Punto E2, espolón 414.

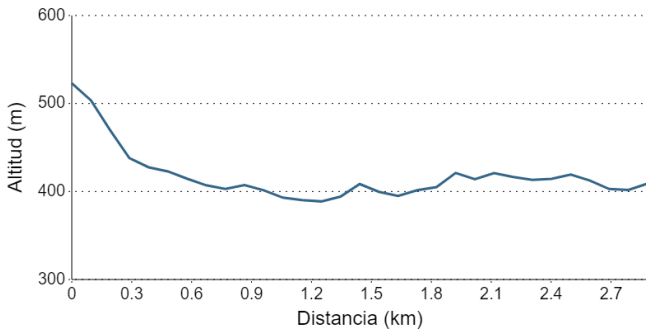
E2 ESPOLÓN 414					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	14,9 m
527 272,48	4 691 878,276	527 273,09	4 691 893,19	 Punto violeta: Tracker. Punto azul: Teórico.	
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					

Tabla 6 Espolón 414 E2

- Punto E3, espolón 373.

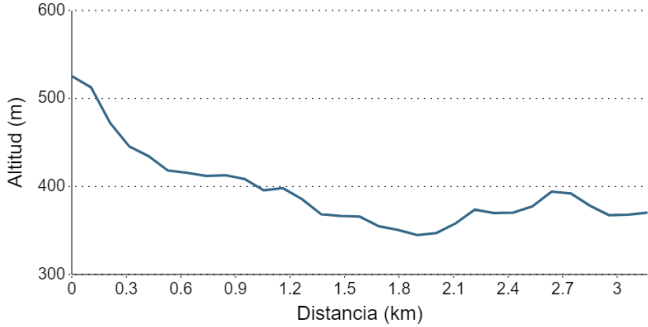
E3 ESPOLÓN 373					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	20,5 m
527 669,81	4 692 038,842	527 688,20	4 692 047,90	 Punto violeta: Tracker. Punto azul: Teórico.	
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					

Tabla 7 Espolón 373 E3

- Punto I1, cruce caminos coordenadas.

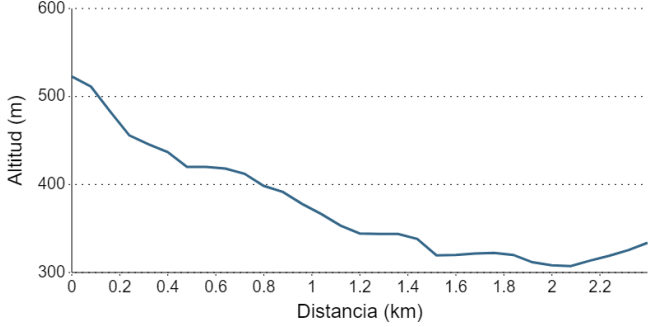
I1 CRUCE CAMINOS					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	4,4 m
527 756,06	4 691 234,380	527 752,69	4 691 231,63		
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix).					
					
				Punto violeta: Tracker. Punto azul: Teórico.	

Tabla 8 Cruce caminos I1

- Punto V2, cruce vaguada camino.

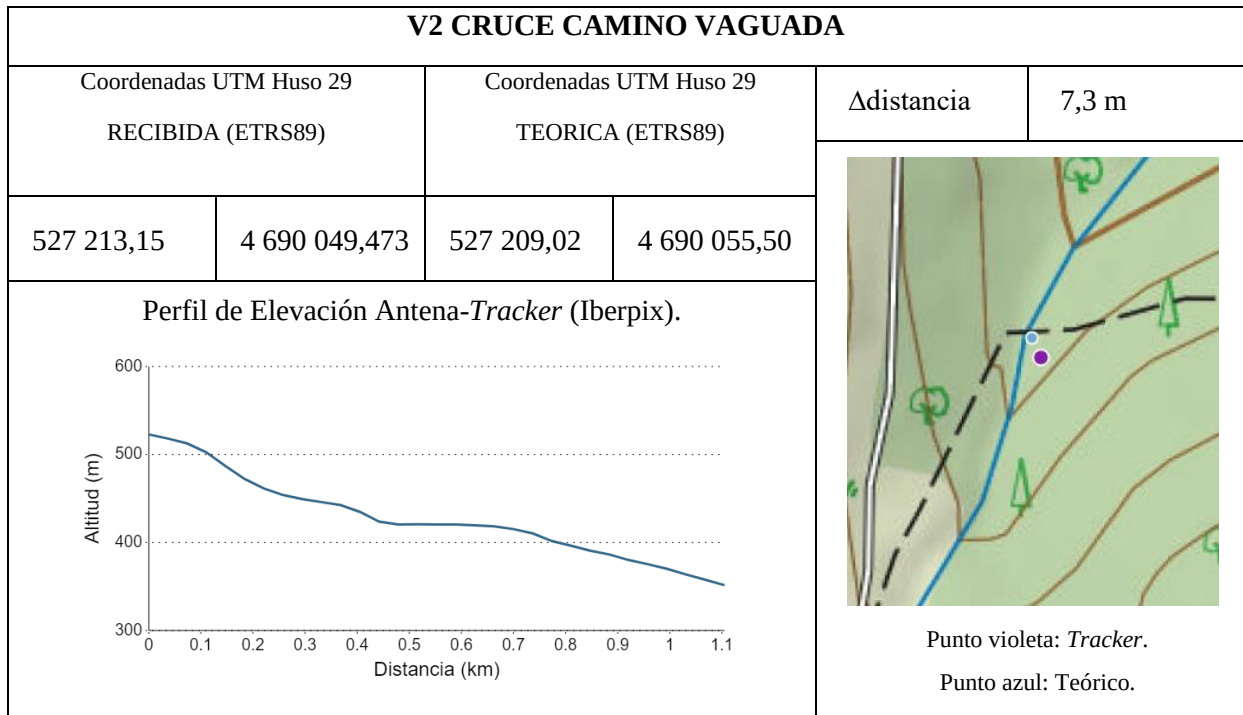


Tabla 9 Cruce camino vaguada V2

4.4.2 Resultado Tracker 018300EA

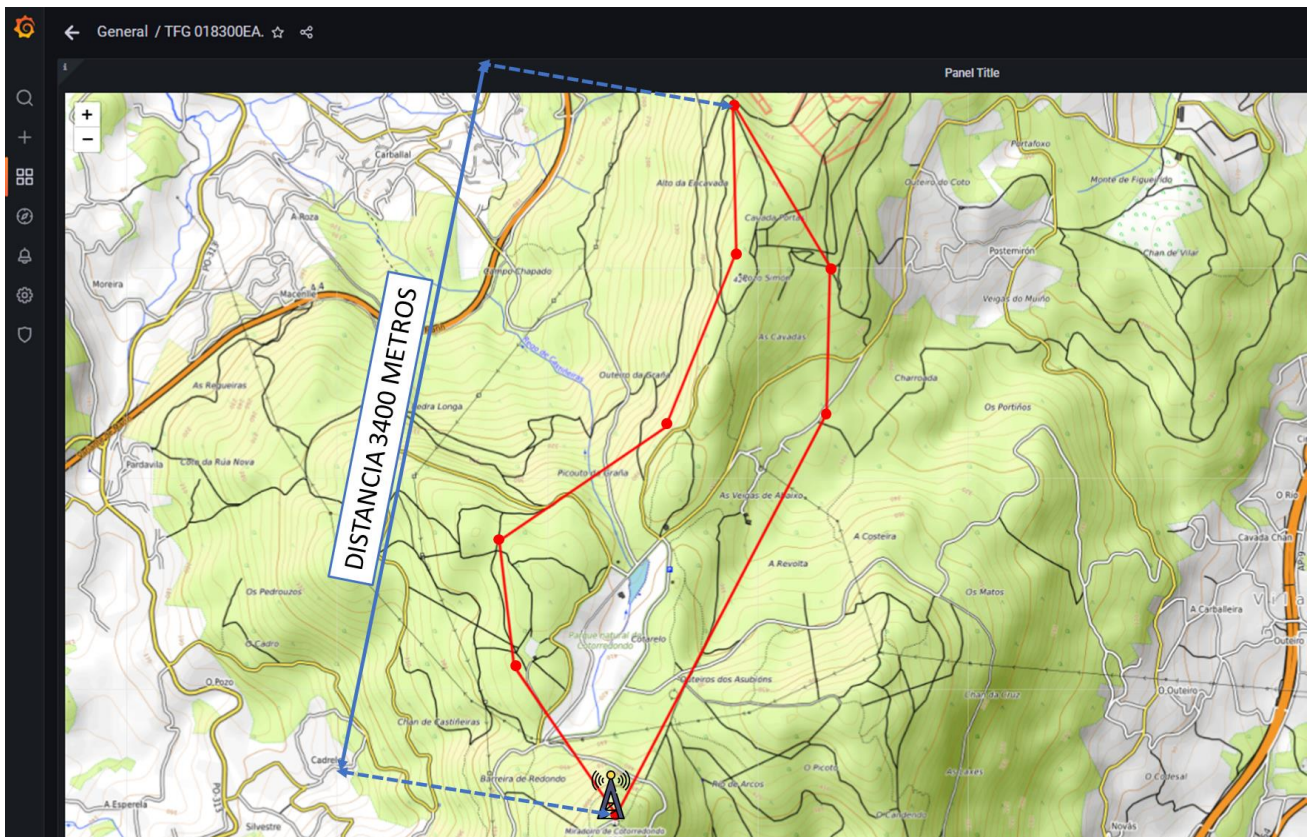


Figura 4-13 Recorrido Tracker 018300EA (Grafana)

- Punto C2, cota 433.

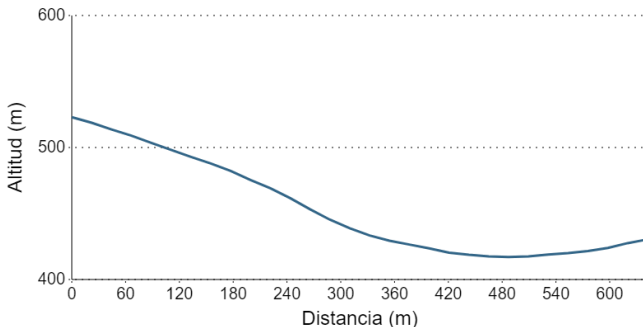
C2 COTA 433					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	6,1 m
526 274,59	4 689 731,873	526 269,67	4 689 735,48		
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					
				Punto verde: Tracker. Punto azul: Teórico.	

Tabla 10 Cota 433 C2

- Punto L2, collado 422.

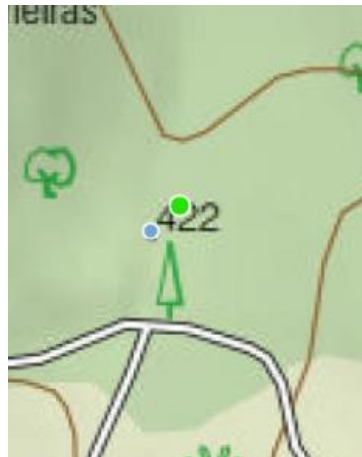
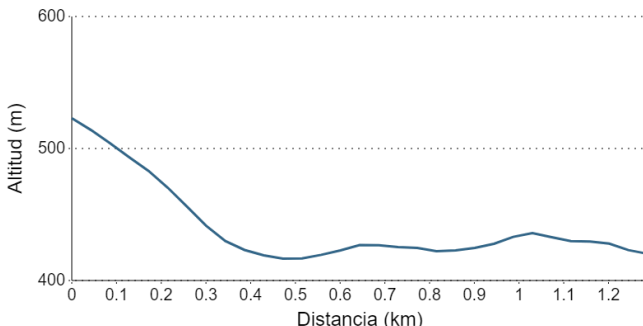
L2 COLLADO 422					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	13,9 m
526 209,09	4 690 269,050	526 198,54	4 690 259,76		
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					
				Punto verde: Tracker. Punto azul: Teórico.	

Tabla 11 Collado 422 L2

- Punto L3, collado 399.

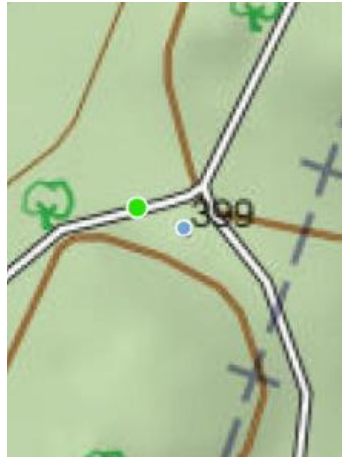
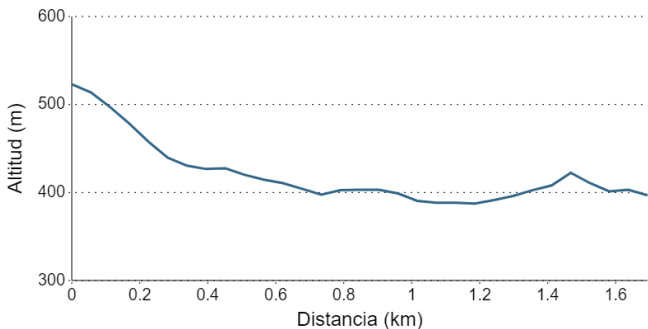
L3 COLLADO 399					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	14,1 m
526 979,77	4 690 746,810	526 992,50	4 690 740,95	 Punto verde: <i>Tracker</i>. Punto azul: Teórico.	
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					

Tabla 12 Collado 399 L3

- Punto C3, cota 434.

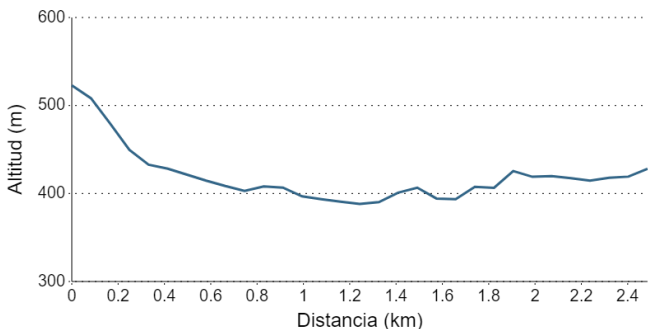
C3 COTA 434					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δdistancia	3,5 m
527 218,92	4 691 508,977	527 218,59	4 691 505,46		
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix).					
					
Punto verde: Tracker. Punto azul: Teórico.					

Tabla 13 Cota 434 C3

- Punto I2, cruce caminos.

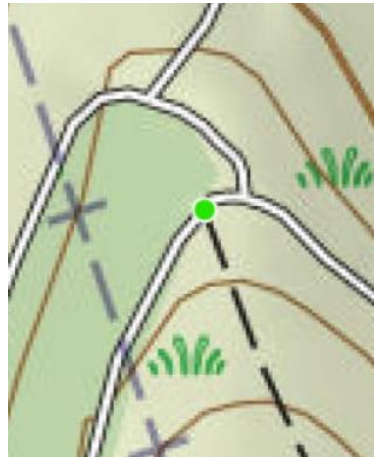
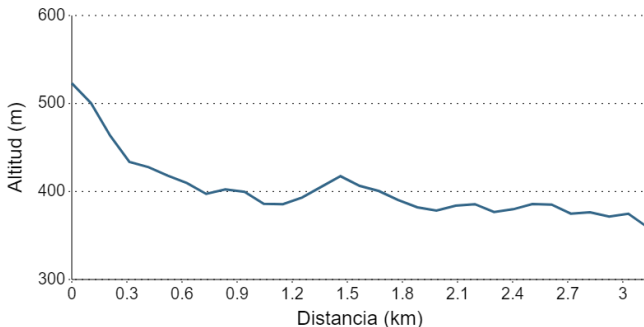
I2 CRUCE DE CAMINOS					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	1,3 m
527 202,11	4 692 147,602	527 202,60	4 692 146,36	 Punto verde: <i>Tracker</i>. Punto azul: Teórico.	
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					

Tabla 14 Cruce de caminos I2

- Punto V3, cruce vaguada camino.

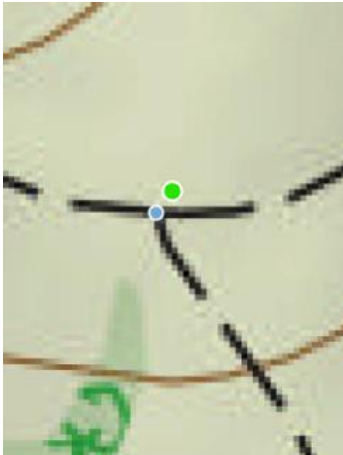
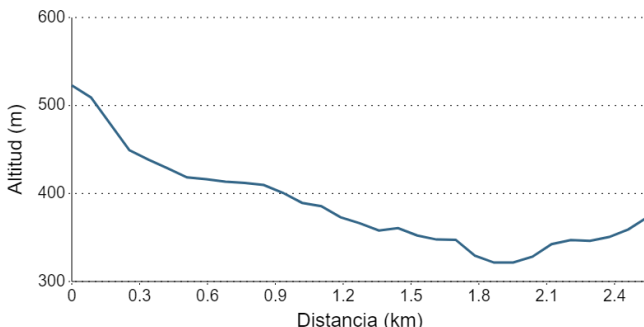
V3 CRUCE VAGUADA CAMINO					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δ distancia	6,3 m
527 622,00	4 691 449,707	527 616,67	4 691 446,29		
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					
Punto verde: Tracker. Punto azul: Teórico.					

Tabla 15 Cruce vaguada camino V3

- Punto I3, cruce caminos.

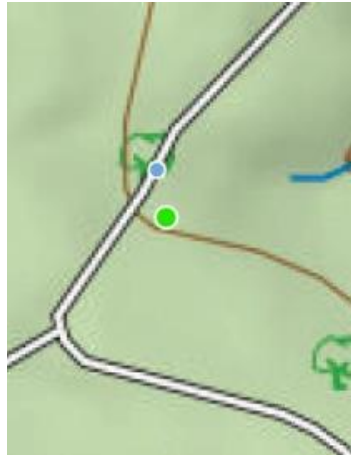
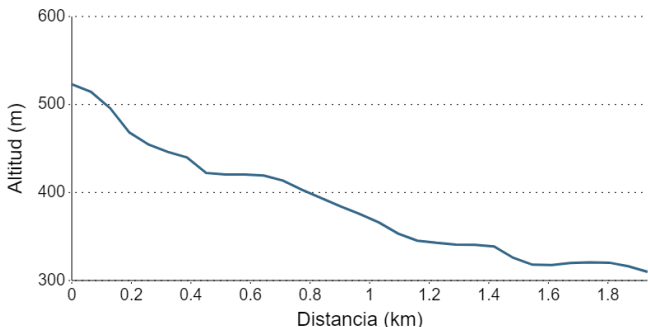
I3 CRUCE DE CAMINOS					
Coordenadas UTM Huso 29 RECIBIDA (ETRS89)		Coordenadas UTM Huso 29 TEORICA (ETRS89)		Δdistancia	19,3 m
527 611,80	4 690 819,859	527 604,07	4 690 837,57		
Perfil de Elevación Antena-Tracker (Iberpix). 					
				Punto verde: Tracker. Punto azul: Teórico.	

Tabla 16 Cruce de caminos I3

4.4.3 Resultados prueba lago Castiñeiras

A raíz de esta prueba se han comprobado los siguientes aspectos:

- La diferencia entre las coordenadas teóricas y las recibidas son de media de unos 11 metros. Sin embargo, hay que tener en cuenta que dentro de estas diferencias hay que incluir diferentes errores posibles:
 - El primero, producido por la diferencia entre las coordenadas teóricas dónde se encuentra el punto característico con la ubicación dónde realmente se identifica el punto sobre el terreno.
 - El posible error que puede provocar el propio receptor, que teóricamente, otorga un error circular probable de 2,5 metros.
 - El propio error humano al realizar la prueba.
- El sistema fue capaz de recibir información desde puntos con accidentes geográficos entre medio como por ejemplo en el punto V1(Tabla 4) o el I2 (Tabla 14).
- La distancia más lejana desde la que se ha recibido una emisión ha sido a unos 3,5 kilómetros, consolidándose un radio de acción considerable en un entorno no despejado.
- Durante el desarrollo de la prueba se pudo comprobar el correcto funcionamiento de los *trackers*. Estos tal como se configuraron, solo emitieron los paquetes cuando se pulsó el botón rojo. También se volvió a verificar que, para enviar el paquete con la información GPS se hace necesario 2 envíos. El primero al pulsar el botón rojo, y el segundo que es enviado automáticamente a los 45 segundos aproximadamente.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este quinto capítulo se presentarán las conclusiones obtenidas a lo largo de la realización del Trabajo de Fin de Grado y se propondrán una serie de líneas futuras.

5.1 Conclusiones

Una vez completado el proyecto, se han extraído las siguientes conclusiones:

- El diseño del sistema otorga al alumno de una herramienta para los recorridos topográficos que cabe en la palma de la mano y de un peso de menos de 100 gramos, que está materializado con el *tracker* LGT-92 de Dragino.
- El profesorado contaría con una herramienta muy fácil e intuitiva de usar para la evaluación de los recorridos topográficos. La instalación y puesta en marcha, como se ha podido comprobar a lo largo de las diferentes pruebas, no tardaría más de cinco minutos.
- En la prueba de autonomía el tracker consumió el 70% de su batería a lo largo de 42 horas en las que emitió cada 3 minutos un paquete. A lo largo de un cuatrimestre, se emplean alrededor de 40 horas para la realización de recorridos topográficos, en los cuales, únicamente se requerirían enviar entre 10 y 20 paquetes en su desarrollo. Por ello, la autonomía de estos dispositivos está muy por encima de la exigida, hasta el punto de que, una vez cargados, no haría siquiera falta volverlos a cargar para completar todos los ejercicios topográficos de un cuatrimestre.
- De la prueba que se realizó en el lago Castiñeiras se extrajo una precisión media de 11 metros. Esta posibilitaría evaluar la buena o mala identificación de los puntos asignados por parte del alumnado.
- Si bien el radio de acción es limitado cuando hay accidentes geográficos en medio, si se implanta el sistema en un punto dominante del terreno, funcionaría a distancias suficientes para la realización de ejercicios topográficos. La distancia asegurada de enlace sin interferencias se ha consolidado en 6 kilómetros, mientras que la cobertura en un entorno típico donde se desarrollan los ejercicios se consolidó con un radio de acción de 3,5 kilómetros.
- Durante la prueba del lago Castiñeiras se pudo verificar la configuración de los tracker. Esta permitía únicamente enviar el paquete al gateway cuando se pulsaba intencionadamente el botón rojo. Esto posibilitaría que, el alumno tuviese la capacidad de únicamente enviar la información GPS cuando este crea que se encuentra en el punto asignado, y no enviándose continuamente a lo largo del recorrido. Esto facilita que se pueda discernir si el alumno realmente ha querido provocar la emisión o no, en función de su juicio acerca de la situación geográfica en la que él crea que se encuentra.

- Los *tracker* no otorgan ningún tipo de información al alumno que le pueda ayudar durante sus recorridos topográficos.
- El tiempo que tiene que invertir el alumno para verificar que ha encontrado el punto topográfico es de alrededor de 1 minuto, que sería el tiempo habitual que tardan los dispositivos en ser capaces de obtener las coordenadas a través del GPS y de enviar la información al *gateway*, por lo que, no supondría ningún inconveniente para desarrollo del ejercicio.
- El sistema proporciona al profesorado la posibilidad de ver en qué orden han realizado los puntos asignados, mediante la utilización del mapa geográfico que ofrece Grafana conjugado con los datos recibidos de los *tracker*.
- En caso de emergencia, si el alumno estuviese consciente, podría pulsar el botón de alarma provocando el envío continuo de su posición, lo que alertaría a un profesor que estuviese con el ordenador. Si el alumno se encontrase inconsciente, de la misma manera se empezaría a enviar su posición de manera continua al permanecerse este quieto en la misma ubicación.
- El diseño del sistema evita la utilización de internet exceptuando en la última parte para la visualización de los resultados. Esto significa que, dónde se encuentre el ordenador conectado al *gateway*, si se quiere tener una visualización en vivo de los diferentes alumnos se necesitaría internet. En caso de utilizarse únicamente para la recolección de la información para su posterior evaluación, no sería necesario durante el desarrollo del recorrido topográfico internet. Este punto se expondrá más tarde como una de las líneas futuras.
- Presuponiendo la utilización de un portátil propiedad de la escuela para la utilización de los diferentes recursos software de código abierto que se necesitan, y teniendo en cuenta que, la actual Compañía de Alumnos la integran un total de 64 Infantes de Marina, la Escuela Naval Militar necesitaría realizar un desembolso único de alrededor de 3000 euros mediante la adquisición de:
 - 1 Gateway Dragino LPS8 de 145,50€.
 - Un Dragino Tracker LGT-92 por cada alumno, a un precio unitario de 43,50 €.
 - Antena OMB.868.B05F21 o de características similares a un precio entorno los 100 euros.

A raíz de estas conclusiones, considero que, si bien el sistema tiene multitud de mejoras posibles, se consolida como una herramienta fiable y eficaz para la evaluación de los recorridos topográficos que llevan a cabo los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar.

5.2 Líneas Futuras

Para el perfeccionamiento y desarrollo del presente TFG se propone lo siguiente:

- La principal mejora sería la implementación de algún Sistema de Información Geográfica como QGIS [31], habilitando el visionado de los recorridos sin necesidad de internet. Esto proporcionaría el último paso necesario para convertir este proyecto en un sistema sin ningún tipo de necesidad de conexión a redes externas, las cuales, en determinados entornos dónde típicamente se desarrollan los ejercicios topográficos, pueden llegar a ser una limitación.
- Mejorar la forma en la que el sistema alertaría en caso de emergencia. Tal como se encuentra implementado, se necesitaría que un profesor estuviese pendiente del ordenador para alertarse. Entonces, aportaría una mayor seguridad al alumno si el sistema produjese algún tipo de notificación o alarma que llegase al profesor de manera inmediata.

- Para la evaluación de cada uno de los alumnos se hace necesario la comprobación uno a uno de los recorridos topográficos realizados. Es por ello por lo que, desarrollar el sistema de tal manera que lo hiciese de manera automática, integrando las propias planillas con las que cuente el profesorado para calificar los ejercicios, disminuiría aún más, el tiempo que tomaría llevar a cabo la evaluación.
- Estudiar la posibilidad de emplear una antena direccional en vez de una omnidireccional, en función de las principales zonas donde son realizados los recorridos topográficos para la optimización de los rangos de alcance.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] España. Ministerio de Defensa, *Doctrina para el empleo de las FAS : PDC-01(A)*.
- [2] A. Pozo-Ruz, A. Ribeiro, M. C. García-Alegre, L. García, D. Guinea, and F. Sandoval, “SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS): DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS DE ERRORES, APLICACIONES Y FUTURO.”
- [3] AristaSur, “Cómo funciona el sistema de posicionamiento GPS,” Nov. 28, 2014. <https://www.aristasur.com/sites/as/users/3/image/gps-satelite.jpg> (accessed Jan. 31, 2022).
- [4] TomTom International BV, “TOMTOM,” 2022. TomTom International BV (accessed Jan. 31, 2022).
- [5] “FORCE XXI BATTLE COMMAND, BRIGADE AND BELOW (FBCB2).” <https://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2000/dot-e/images/00fbc2.jpg> (accessed Jan. 31, 2022).
- [6] Dynamic Software Solutions, “ADR ATAK.” <http://www.ds2.com/solutions/atak> (accessed Jan. 31, 2022).
- [7] TAK, “Harness the power of realtime data to solve real world problems with TAK.” <https://tak.gov/> (accessed Feb. 02, 2022).
- [8] “ATAK- ANDROID TACTICAL ASSAULT KIT”, Accessed: Feb. 02, 2022. [Online]. Available: <https://www.tacticalcafe.it/wp-content/uploads/2021/04/Galaxy-S20-Tactical-Edition2-ok.jpg>
- [9] Geosatis Technology, “Our current solution.” <https://geo-satis.com/current-solution/> (accessed Mar. 02, 2022).
- [10] Justice Trends Magazine, “El monitoreo electrónico a otro nivel.” <https://justice-trends.press/wp-content/uploads/2019/02/geosatis-bracelet-820.jpg> (accessed Feb. 02, 2022).
- [11] SPOT LLC, “Spot rescata al mantener a la gente conectada en todo el mundo.” <https://www.findmespot.com/es-es/> (accessed Feb. 03, 2022).
- [12] “Spot Gen 4.” https://m.media-amazon.com/images/I/51itBUGrM7L._AC_SX679_.jpg (accessed Feb. 02, 2022).
- [13] K. Rose, S. Eldridge, and L. Chapin, “La Internet de las cosas. Una breve reseña para entender mejor los problemas y desafíos de un mundo más conectado,” 2015.

- [14] Alejandro Alaluf, “Internet de las Cosas: cómo está cambiando nuestras vidas,” Oct. 21, 2021. <https://www.latercera.com/piensa-digital/noticia/internet-de-las-cosas-como-esta-cambiando-nuestras-vidas/NY6ME2TEANERNI4GF4EK46FF74/> (accessed Mar. 20, 2022).
- [15] Global Data International, “Internet of Things - Thematic Research -.” <https://store.globaldata.com/report/internet-of-things-thematic-research-2/> (accessed Feb. 22, 2022).
- [16] Fernando Campos, “LPWAN: qué son y para qué se utilizan,” Jul. 21, 2020. <https://www.m2mlogitek.com/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/> (accessed Feb. 22, 2022).
- [17] Agustin Bassi, “Introducción a la tecnología LoRa,” Jun. 03, 2021. https://www.gotoiot.com/pages/articles/lora_intro/index.html (accessed Feb. 17, 2022).
- [18] DSET, “Tecnología LoRaWAN: Internet de las cosas.” <http://productos-iot.com/lorawan-3/> (accessed Mar. 22, 2022).
- [19] “Tecnología LoRaWAN. Arquitectura y tramas.” <https://elbosquedesilicio.es/wp-content/uploads/2020/05/image-8.png> (accessed Feb. 04, 2022).
- [20] Free PNG, “LoRaWAN imagen.” <https://img2.freepng.es/20180716/gpu/kisspng-lorawan-lpwan-the-things-network-computer-network-border-gateway-protocol-5b4d4cf4809918.1501957215317926285268.jpg> (accessed Feb. 04, 2022).
- [21] “Ordenador portátil personal marca Asus N552VX-FY03T.” https://m.media-amazon.com/images/I/61I+az+3q8L._AC_SX450.jpg (accessed Feb. 08, 2022).
- [22] “LPS8 LoRaWAN Gateway User Manual.” [Online]. Available: www.dragino.com
- [23] “Grafana.” <https://www.openservices.eus/wp-content/uploads/2018/04/grafana1.jpg> (accessed Feb. 20, 2022).
- [24] Luis del Valle Hernández, “Guía de introducción a MQTT con ESP8266 y Raspberry Pi.” <https://programarfacil.com/wp-content/uploads/2018/02/topologia-estrella-mqtt.png> (accessed Feb. 04, 2022).
- [25] “Dragino LoRa® AT Command Sets Dragino LoRa® AT Command Sets (For LGT92) Dragino LoRa® AT Command Sets,” 2019. [Online]. Available: www.dragino.com
- [26] “Descarga mosquitto.” <https://mosquitto.org/download/> (accessed Feb. 23, 2022).
- [27] “Descarga programa NodeJS”, Accessed: Feb. 20, 2022. [Online]. Available: <https://nodejs.org/es/download/>
- [28] Grafana Labs, “Descargar Grafana”, Accessed: Feb. 23, 2022. [Online]. Available: <https://grafana.com/grafana/download>
- [29] Instituto Geográfico Nacional, “Iberpix; Ortofotos y cartografía.” <https://www.ign.es/iberpix/visor> (accessed Mar. 15, 2022).
- [30] Instituto Geográfico Nacional, “Programa de Aplicaciones Geodésicas.” <https://www.ign.es/web/ign/portal/calculadora-geodesica> (accessed Mar. 15, 2022).
- [31] QGIS, “Un sistema de Información Geográfico libre y de Código Abierto.” <https://www.qgis.org/es/site/> (accessed Mar. 22, 2022).

ANEXO I: EXTRACTO DEL LGT-92 LoRaWAN GPS TRACKER USER MANUAL

Introduction

What is LGT-92 LoRa GPS Tracker

LGT-92 is a Long Range / low power consumption LoRaWAN GPS *tracker*. LGT-92 gets user's location info via GPS and sends it to IoT server via LoRaWAN wireless network.

Compare to traditional GPS *trackers* (base on GPRS or Cellular network), LGT-92 use **much lower power consumption** hence can last for longer time. It doesn't need cellular service; system integrator can build their tracking network base on LoRaWAN technology or Join the device to existing LoRaWAN network

LGT-92 uses STM32L0x chip from ST, STM32L0x is the **ultra-low-power** STM32L072xx microcontrollers incorporate the connectivity power of the universal serial bus (USB 2.0 crystal-less) with the high-performance ARM® Cortex®-M0+ 32-bit RISC core operating at a 32 MHz frequency, a memory protection unit (MPU), high-speed embedded memories (192 Kbytes of Flash program memory, 6 Kbytes of data EEPROM and 20 Kbytes of RAM).

LGT-92 includes a low power GPS module and a 9-axis accelerometer for motion detection. The power for both of the GPS module can be controlled by MCU to achieve the best energy profile for different applications.

LGT-92 series products include two major variants:

- **LGT-92-LI**: is powered by 1000mA rechargeable Li-on battery and charge circuit, which target for real time tracking with short tracking uplink.
- **LGT-92-AA**: Disable the charge circuit to get the lowest power consumption and power directly by 2 x 1.5v AA battery. This is designed for asset tracking where only need to uplink a few times every day.

LGT-92 is an **open source project**, it is based on the STM32Cube HAL drivers and lots of libraries can be found in ST site for rapid development.

Specifications

Micro Controller:

- STM32L072CZT6 MCU
- MCU: STM32L072CZT6
- Flash: 192KB
- RAM: 20KB
- EEPROM: 6KB
- Clock Speed: 32Mhz

Common DC Characteristics:

- Supply Voltage:
- LGT92-LI: 5V via USB port or Internal li-on battery
- LGT92-AA v1.3/v1.4: 2.84v ~ 3.6v via screw terminal.
- Operating Temperature: -40 ~ 85°C

LoRa Spec:

Frequency Range,

- Band 1 (HF): 862 ~ 1020 Mhz
- 168 dB maximum link budget.
- Ø +20 dBm - 100 mW constant RF output vs.
- Ø +14 dBm high efficiency PA.
- Programmable bit rate up to 300 kbps.
- High sensitivity: down to -148 dBm.
- Bullet-proof front end: IIP3 = -12.5 dBm.
- Excellent blocking immunity.
- Low RX current of 10.3 mA, 200 nA register retention.
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz.
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM and OOK modulation.
- Built-in bit synchronizer for clock recovery.
- Preamble detection.
- 127 dB Dynamic Range RSSI.
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC.
- Packet engine up to 256 bytes with CRC.
- LoRaWAN 1.0.2 Specification

Battery:

- 1000mA Li-on Battery power (for model LGT-92-LI)
- 2 x AA battery holder for 1.5v AA battery power (for model LGT-92-AA)

Power Consumption

- Sleeping Mode: 77uA (for model LGT-92-LI), 17uA (for model LGT-92-AA)
- LoRa Transmit Mode: 125mA @ 20dBm 44mA @ 14dBm
- Tracking: max: 38mA

Features

- LoRaWAN 1.0.2 Class A, Class C
- STM32L072CZT6 MCU
- SX1276/78 Wireless Chip
- Pre-load bootloader on USART1/USART2
- MDK-ARM Version 5.24a IDE
- Preamble detection
- Frequency bands CN470/EU433/KR920/US915/IN865
- EU868/AS923/AU915
- Open source hardware / software
- Regular/ Real-time GPS tracking
- Built-in 9 axis accelerometer (MPU9250)
- Motion sensing capability
- Power Monitoring
- Charging circuit via USB port (for model LGT-92-LI)

- 1000mA Li-on Battery power (for model LGT-92-LI)
- 2 x AA battery holder for 1.5v AA battery (for model LGT-92-AA)
- Tri-color LED, Alarm button

ANEXO II: EXTRACTO DEL LGT-92 LoRAWAN GPS TRACKER USER MANUAL

Introduction

What is the LPS8

The LPS8 is an **open source** LoRaWAN *Gateway*. It lets you bridge LoRa wireless network to an IP network via

WiFi, Ethernet. The LoRa wireless allows users to send data and reach extremely long ranges at low data-rates.

The LPS8 uses **Semtech packet forwarder** and fully compatible with LoRaWAN protocol. It includes a **SX1308LoRa concentrator**, which provides 10 programmable parallel demodulation paths.

LPS8 has **pre-configured standard LoRaWAN frequency bands** to use for different countries. User can also **customized the frequency bands** to use in their own LoRa network.

Specifications

Hardware System:

Linux Part:

- 400Mhz ar9331 processor
- 64MB RAM
- 16MB Flash

Interface:

- 10M/100M RJ45 Ports x 1
- WiFi : 802.11 b/g/n
- LoRaWAN Wireless
- Power Input: 5V DC, 2A, Type C
- USB 2.0 host connector x 1

WiFi Spec:

- IEEE 802.11 b/g/n
- Frequency Band: 2.4 ~ 2.462GHz
- Tx power:
 - o 11n tx power : mcs7/15: 11db mcs0 : 17db
 - o 11b tx power: 18db
 - o 11g 54M tx power: 12db
 - o 11g 6M tx power: 18db
- Wifi Sensitivity
 - o 11g 54M : -71dbm
 - o 11n 20M : -67dbm

LoRa Spec:

- Up to -140 dBm sensitivity with SX1257 Tx/Rx front-end
- 70 dB CW interferer rejection at 1 MHz offset
- Able to operate with negative SNR, CCR up to 9dB
- Emulates 49 x LoRa demodulators and 1 x (G)FSK demodulator
- Dual digital TX & RX radio front-end interfaces
- 10 programmable parallel demodulation paths
- Dynamic data-rate (DDR) adaptation
- True antenna diversity or simultaneous dual-band operation

Max Power: 5v, 1.3A

Features

- Open Source OpenWrt system
- Managed by Web GUI, SSH via WAN or WiFi
- Remote access with Reverse-SSH
- Emulates 49x LoRa demodulators
- LoRaWAN Gateway
- 10 programmable parallel demodulation paths
- Pre-configure to support different LoRaWAN regional settings.
- Allow to customize LoRaWAN regional parameters.
- Support Local decode ABP end node info and transfer to MQTT server
- Support different level log in.

LED Indicators

LPS8 has totally four LEDs, They are:

Power LED : This **RED LED** will be **solid on** if the device is properly powered.

LoRa LED : This **RGB LED** will **blink GREEN** when LoRaWAN module starts or transmit a packet.

SYS LED : This **RGB LED** will shows different colors on different state:

SOLID BLUE: Device is alive with LoRaWAN server connection.

BLINKING BLUE: a) Device has internet connection but no LoRaWAN Connection. or b)

Device is in booting stage, in this stage, it will **BLINKING BLUE** for several seconds and then with together **SOLID RED** and **BLINKING BLUE**

SOLID RED: Device doesn't have Internet connection.

ETH LED : This LED shows the ETH interface connection status.