



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

*Sistema portátil de posicionamiento para barcos*

### **Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Álvaro del Cuvillo Vivancos

**DIRECTORES:** Rafael Asorey Cacheda

Miguel Rodelgo Lacruz

**CURSO ACADÉMICO:** 2016-2017

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

*Sistema portátil de posicionamiento para barcos*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General / Infantería de Marina

Universida<sub>de</sub>Vigo



# **RESUMEN**

El control de las embarcaciones empleadas en las actividades diarias de la Escuela Naval Militar no es una tarea sencilla. Es por ello que se propone el desarrollo de un sistema que permita controlar dichas actividades de manera centralizada.

En este trabajo de fin de grado se estudia el empleo de un sistema de localización GPS para realizar las funciones de vigilancia y control de estas embarcaciones de manera remota mediante el uso de una red móvil Ad-hoc. Para el funcionamiento del sistema se ha optado por el empleo de un receptor GPS que, conectado a una Raspberry Pi, transmita la información de su posición y datos cinemáticos a través de la red móvil. Además, se ha configurado un punto de acceso para que permita recibir dicha información en un ordenador conectado a una red inalámbrica convencional y así visualizar la actividad de los barcos en tiempo real.

En este proyecto se sientan las bases necesarias para la creación y puesta en marcha de dicho sistema en un futuro.

## **PALABRAS CLAVE**

Localización, Raspberry Pi, GPS, MANET, OLSR.



# **AGRADECIMIENTOS**

A mis tutores Rafel Asorey Cacheda y Miguel Rodelgo Lacruz por su ayuda para superar los problemas encontrados en el proyecto.

A mi familia, amigos y novia por el apoyo mostrado durante mi estancia en la Escuela Naval Militar, especialmente durante el desarrollo de este trabajo de fin de grado.

Al AF. Santiago Blecua Barrios y al AA. Francisco Nuñez Quintero por su colaboración en las pruebas realizadas.





# CONTENIDO

Contenido .....	1
Índice de Figuras .....	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos .....	7
1.1 Motivación del proyecto .....	7
1.2 Objetivos .....	7
1.3 Estructura de la memoria .....	8
2 Estado del arte .....	9
2.1 Empleo de sistemas de localización.....	9
2.2 Sistema de identificación automático (AIS) .....	10
2.2.1 Regulación del AIS .....	11
2.2.2 Tipos de AIS .....	12
2.2.3 S-AIS (Satellite AIS) .....	13
2.3 Sistema de posicionamiento global (GPS).....	14
2.3.1 Introducción.....	14
2.3.2 Segmento espacial .....	15
2.3.3 Segmento de control .....	15
2.3.4 Segmento del usuario.....	16
2.3.5 Funcionamiento del sistema .....	17
2.4 OpenCPN .....	17
2.4.1 Introducción.....	17
2.4.2 Cartas náuticas .....	18
2.4.3 Cartas náuticas en OpenCPN.....	19
2.5 Sentencias NMEA.....	20
2.5.1 Sentencias GGA.....	21
2.5.2 Sentencias GSA .....	21
2.5.3 Sentencias GSV .....	22
2.5.4 Sentencias RMC .....	23
2.5.5 Sentencias ZDA .....	24
2.6 Redes MANET.....	24
2.6.1 Introducción y definición.....	24
2.6.2 Protocolos de encaminamiento .....	25
2.6.3 Ventajas e inconvenientes.....	25
2.7 Encaminamiento OLSR .....	26

2.7.1	Introducción .....	26
2.7.2	Multipoint Relays (MPR) .....	26
2.7.3	Funcionamiento del protocolo .....	27
3	Desarrollo del proyecto .....	29
3.1	Material empleado.....	29
3.1.1	Raspberry Pi 2 model B .....	29
3.1.2	Adafruit Ultimate GPS Logger Shield.....	30
3.1.3	Nano Station M2.....	31
3.2	Composición del sistema .....	32
3.2.1	Segmento embarcado.....	32
3.2.2	Segmento terrestre .....	32
3.3	Configuración del sistema.....	33
3.3.1	Configuración de la Raspberry Pi.....	33
3.3.2	Configuración de la NanoStation M2 .....	34
3.3.3	Configuración de OLSR .....	35
3.3.4	Integración del GPS Adafruit en la Raspberry Pi (Hardware).....	37
3.4	Envío de datos de posición.....	39
3.4.1	Configuración y uso de Netcat .....	39
3.4.2	Configuración de OpenCPN .....	41
4	Validación del funcionamiento del sistema.....	45
4.1	Primera prueba .....	45
4.2	Segunda prueba .....	47
5	Conclusiones y líneas futuras .....	51
5.1	Conclusiones .....	51
5.2	Líneas futuras .....	52
6	Bibliografía.....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Funcionamiento del radar pulsado [34].	10
Figura 2-2 Transmisión de datos AIS [6].	11
Figura 2-3 Vista de la página de Marine Traffic [35].	14
Figura 2-4 Vista de ExactEarth [33].	14
Figura 2-5 Constelación GPS [12].	15
Figura 2-6 Segmento de control GPS [12].	16
Figura 2-7 Funcionamiento de la triangulación de los satélites GPS [13].	17
Figura 2-8 Carta náutica digital (izquierda) y en papel (derecha).	18
Figura 2-9 Instalación de cartas náuticas.	19
Figura 2-10 Menú de presentación de las cartas en OpenCPN.	19
Figura 2-11 Esquema de MPR.	26
Figura 2-12 Detección de nodos vecinos mediante el mensaje HELLO [23].	27
Figura 3-1 Raspberry Pi 2 model B [24].	30
Figura 3-2 Adafruit Ultimate GPS Logger Shield [25].	30
Figura 3-3 Nano Station M2 [1].	31
Figura 3-4 Diagrama de radiación de la antena [1].	31
Figura 3-5 Segmento embarcado.	32
Figura 3-6 Segmento terrestre.	33
Figura 3-7 Instalación de la imagen de OpenWrt.	33
Figura 3-8 Inicio de OpenWrt.	34
Figura 3-9 Estado de conexiones al router.	35
Figura 3-10 Mensaje HNA.	36
Figura 3-11 Estado de OLSR.	36
Figura 3-12 OLSR plugins.	37
Figura 3-13 Distribución de pines GPIO [32].	38
Figura 3-14 Distribución del cableado entre la Raspberry Pi y el GPS [34].	38
Figura 3-15 Contenido del script gpspullraw.sh.	40
Figura 3-16 Contenido script gpscleanraw.sh.	40
Figura 3-17 Contenido del script gps.sh.	41
Figura 3-18 Contenido del archivo rc.local.	41
Figura 3-19 Ventana de opciones OpenCPN.	42
Figura 3-20 Menú de configuración de conexiones del OpenCPN.	42
Figura 3-21 Ventana de depuración NMEA.	43
Figura 4-1 Topología de la red en la primera prueba.	46

Figura 4-2 OpenCPN en la primera prueba. ....	46
Figura 4-3 Vista aérea de la zona de la primera prueba [28].....	47
Figura 4-4 Detección de los nodos en la segunda prueba. ....	47
Figura 4-5 Topología antes de la segunda prueba. ....	48
Figura 4-6 Ubicación de la antena en la segunda prueba. ....	48
Figura 4-7 Topología de la red durante la segunda prueba. ....	49
Figura 4-8 OpenCPN durante la segunda prueba. ....	49
Figura 4-9 Vista aérea de la zona de la segunda prueba [28].....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Mensajes de navegación AIS. ....	12
Tabla 2-2 Mensajes suplementarios AIS. ....	13
Tabla 2-3 Formato GGA [19]. ....	21
Tabla 2-4 Formato GSA [19]. ....	22
Tabla 2-5 Formato GSV [19]. ....	22
Tabla 2-6 Formato RMC [19]. ....	23
Tabla 2-7 Formato ZDA [19]. ....	24



# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Motivación del proyecto

En el día a día de la Escuela Naval Militar se realizan numerosas actividades en el ámbito marino, en las que están presentes diferentes tipos de embarcaciones y en las que participan muchos alumnos simultáneamente. Estas condiciones hacen que el control de dichas actividades no resulte sencillo. Problemas similares ya se han planteado en el mundo civil, en el que ya son muchas las empresas que emplean sistemas de localización para llevar a cabo un mejor control y vigilancia de sus negocios, desde empresas de transporte hasta el sector sanitario.

Es por ello que se quiere desarrollar un sistema portátil de posicionamiento para barcos, que permita monitorizar su posición e información en tiempo real mediante una aplicación. Este sistema funcionará empleando la red móvil Ad-Hoc estudiada y desarrollada en otros trabajos de fin de grado ([1] y [2]). Así, un segmento embarcado (compuesto por una Raspberry Pi, un receptor GPS y un punto de acceso) enviará los datos a un segmento terrestre (una antena receptora y un ordenador), en el que se recopilará la información procedente de todas las embarcaciones integradas en la red y se mostrará en una pantalla para poder ejercer un control más sencillo de la situación.

Se ha escogido la red móvil Ad-hoc por ser una red que no necesita de infraestructura previa y que se adapta muy bien a los cambios de la topología. Además, el desarrollo de un sistema de localización basado en software libre permite una amplia configuración y una mayor facilidad a la hora de implementar mejoras en un futuro.

## 1.2 Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar en este trabajo son:

- Integrar un sistema tipo Raspberry Pi con un GPS, una batería y un punto de acceso.
- Configurar el punto de acceso para que se pueda integrar en la red MANET de las lanchas de instrucción.
- Integrar un interfaz básico de configuración en el sistema.
- Conseguir enviar los datos procedentes del GPS a través de esta red.
- Configurar un nodo de la red MANET para hacer de enlace entre la misma y la red a la que esté conectado el ordenador en el que se va a realizar el control.
- Conseguir la visualización de estos datos en un ordenador.
- Generar las bases para el desarrollo de un prototipo de localizador portátil en futuros trabajos de fin de grado.

### **1.3 Estructura de la memoria**

En el resto de la memoria se explica con más detalle el funcionamiento y desarrollo del sistema de posicionamiento portátil y se exponen los resultados y conclusiones obtenidos. El contenido está organizado de la siguiente manera:

- En el capítulo 2 se explican varios conceptos importantes relacionados con este proyecto. Además, se relata el estado actual de los sistemas de posicionamiento y de las redes Ad-Hoc, que son los dos aspectos en los que se centra este trabajo.
- En el capítulo 3 se explica el proceso de integración y configuración de los distintos elementos que componen el sistema de localización.
- En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del sistema.
- En el capítulo 5 se incluyen las conclusiones resultantes del estudio teórico-práctico del sistema. Además, se han redactado unas breves líneas futuras para guiar los siguientes pasos en la continuación de este trabajo.



## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Empleo de sistemas de localización

La necesidad de conocer la posición y movimientos de las personas o vehículos ha sido algo que siempre ha levantado el interés de la sociedad, tanto en el ámbito civil como en el militar. Este interés ha sido el motor de la investigación en los sistemas de localización.

Se puede definir un sistema de localización como un conjunto de medios empleados con el fin de conocer la posición de algo o alguien. Si bien, como ya se ha mencionado, estos sistemas son de interés en el mundo civil y en el militar, es este último el que más ha propiciado su evolución a lo largo de la historia. Siguiendo la definición dada, se puede considerar que los primeros sistemas de localización fueron los compuestos por unidades de vigilancia que informaban de la posición del enemigo para representarla en un mapa.

Gracias a los estudios de las ondas electromagnéticas realizados por los físicos James Maxwell y Heinrich Herz, se comienza a plantear el uso de las mismas para la localización. Durante la primera mitad del siglo XX son muchos los países que realizan investigaciones en esta materia de forma paralela. Tras muchos estudios y pruebas, fue el escocés Robert Watson-Watt quien en 1935 patentó un sistema de localización basado en ondas electromagnéticas, llamado “*Radio Detection Finding*”, que dio lugar al radar (*Radio Detection and Ranging*) como se conoce hoy en día. Un paso importante en la evolución del radar fue el acuerdo alcanzado entre ingleses y norteamericanos para trabajar de manera conjunta en su desarrollo. Esto dio lugar a equipos con mayor potencia y menor tamaño y al desarrollo de los radares pulsados [3].

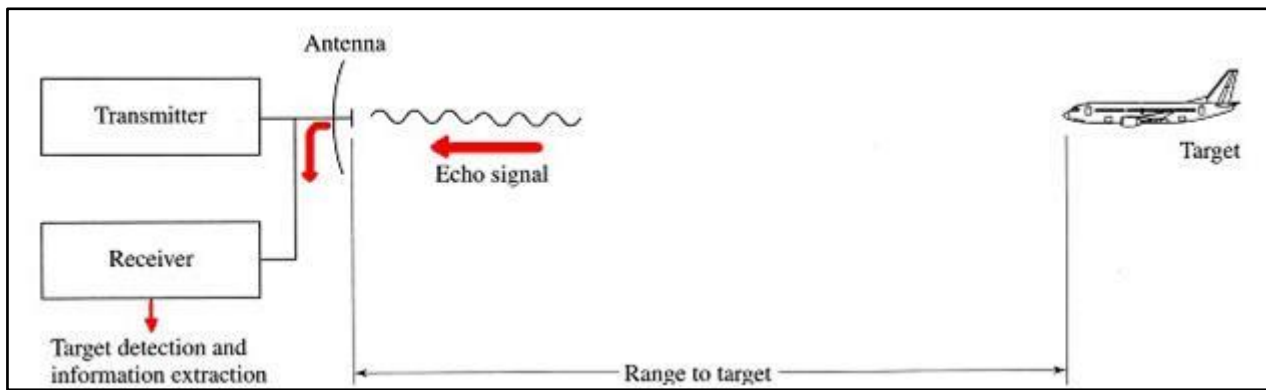


Figura 2-1 Funcionamiento del radar pulsado [34].

En el radar, la energía electromagnética es generada por un transmisor y radiada por la antena transmisora en dirección al blanco. Parte de la energía reflejada por el blanco es recogida por la antena receptora y procesada en el receptor para obtener la información del blanco [4]. Este funcionamiento se puede ver de forma gráfica en la Figura 2-1. Los radares más empleados en la detección de blancos son los radares pulsados, en los que la distancia  $R$  se calcula como  $R = \frac{c \times \Delta t}{2}$ , siendo “ $c$ ” la velocidad de la luz y “ $\Delta t$ ” la diferencia de tiempo entre la emisión y la recepción del pulso electromagnético.

El siguiente avance importante en la evolución de los sistemas de localización fue el empleo de satélites para este objetivo. Un hito de especial importancia en esta tecnología fue la puesta en órbita del satélite Sputnik el 4 de octubre de 1957, logrando ser el primer satélite artificial de la historia. A partir de esta fecha empiezan a desarrollarse sistemas de localización por satélite. En 1964 la armada estadounidense declara operativo el sistema Transit para uso militar, siendo en 1967 cuando se abre este sistema para uso civil. Este sistema fue uno de los predecesores del Navstar-GPS, más conocido simplemente como GPS, cuyo funcionamiento y estructura se detalla en el punto 2.3 [5].

## 2.2 Sistema de identificación automático (AIS)

La Organización Marítima Internacional también veía la necesidad de conocer la localización de las embarcaciones para contribuir a la seguridad marítima. Es por ello que en el año 2000 este organismo reguló el uso del AIS en los barcos. El AIS (*Automatic Identification System*) se trata de la mayor aportación a la seguridad marítima desde el radar. Es un sistema que comenzó a desarrollarse en los años 90 y que realiza intercambios de información entre las embarcaciones y entre éstas y las estaciones costeras, empleando para ello transmisiones radio en VHF. Esto permite a los barcos con AIS recibir los datos de los barcos cercanos y a las estaciones costeras llevar a cabo un control más sencillo del tráfico de su zona. La información enviada incluye datos procedentes del GPS (posición, rumbo, velocidad, etc.) y otros datos como el MMSI (*Maritime Mobile Service Identity*), nombre del barco, etc. En la Figura 2-2 se puede ver un ejemplo gráfico del funcionamiento del AIS.

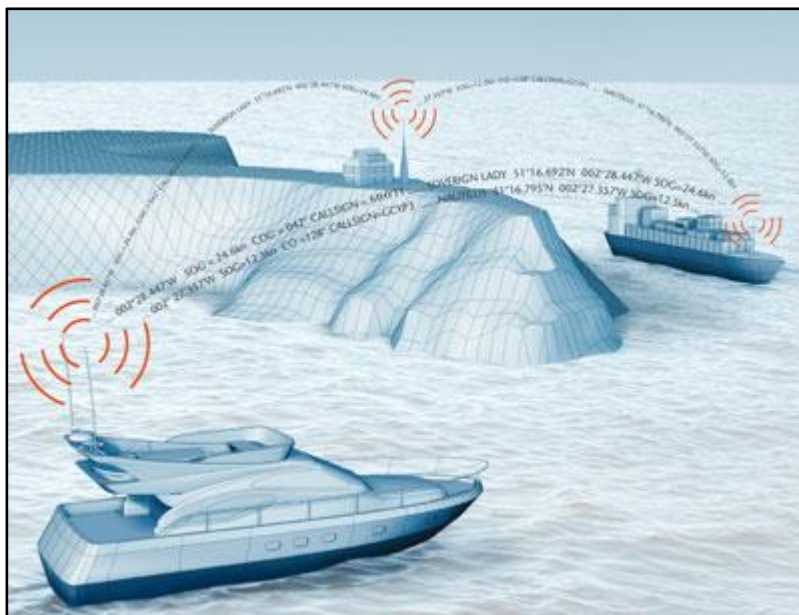


Figura 2-2 Transmisión de datos AIS [6].

### 2.2.1 Regulación del AIS

La nueva regulación establecida por la Organización Marítima Internacional [7] se hizo efectiva el 31 de diciembre de 2004. Con ella se hace obligatorio el uso de equipos AIS a las siguientes embarcaciones:

En tránsitos internacionales:

- Petroleros y buques de pasajeros de más de 150 GT.
- Todos los buques de más de 300 GT.
- Buques comerciales autopropulsados de más de 65 pies de eslora (excepto pesqueros y buques de pasajeros con menos de 150 personas).

En una zona VTS (*Vessel Traffic Service*):

- Remolcadores de más de 26 pies de eslora y 600 hp de potencia.
- Embarcaciones que porten más de 150 pasajeros.
- Buques comerciales autopropulsados de 65 pies de eslora (excepto pesqueros y buques de pasajeros con menos de 150 personas).

Además, en esta misma regulación se fijan los requisitos de un sistema AIS, que debe:

- Proporcionar de manera automática información a las estaciones costeras, buques y aeronaves equipados con AIS. Esta información debe incluir posición, rumbo, velocidad, estado de la navegación y otra información relacionada con la seguridad en la navegación.
- De la misma manera, recibir esta información de los buques debidamente equipados.
- Monitorizar y seguir a los barcos e intercambiar información con las estaciones costeras.

En vista al gran número de embarcaciones no reguladas por esta normativa, el Comité de Seguridad Marítima encargó a las organizaciones técnicas el desarrollo de un sistema alternativo conocido como clase B. En la sección 2.2.2 se explican los tipos de AIS y sus diferencias.

### 2.2.2 Tipos de AIS

AIS clase A: es el tipo de equipo que deben instalar los barcos que están regulados por la normativa SOLAS. Estos equipos deben ser homologados por los organismos correspondientes. Estos sistemas se caracterizan por:

- Emplear un multiplexado en tiempo para la transmisión de datos del tipo SOTDMA (*Self-organizing Time Division Multiple Access*).
- Emitir información en intervalos de 2 a 10 segundos en navegación y 3 minutos en fondeo.
- Emitir información suplementaria en intervalos de 6 minutos.
- Transmitir con una potencia de 12.5 W.

AIS clase B: se creó para permitir el empleo del AIS de manera más económica a los barcos que no están obligados a llevar AIS por la normativa. Este sistema es totalmente compatible con la clase A y sus requisitos son:

- Emplear multiplexado en tiempo para la transmisión de datos, bien SOTDMA o bien CSTDMA (*Carrier Sense Time Division Multiple Access*).
- Emitir información en intervalos de 30 segundos en navegación y 3 minutos en fondeo.
- Emitir información suplementaria en intervalos de 6 minutos.
- Transmitir con una potencia de 2 W.

Receptor AIS: por último, existen también equipos AIS para los barcos no incluidos en la normativa, que permiten únicamente recibir información de las embarcaciones con AIS clase A o clase B. El objeto de estos equipos es incrementar la seguridad en la navegación de los barcos no obligados a llevar AIS [8].

Además de estas diferencias, la información contenida en los mensajes de los equipos AIS clase A y clase B es ligeramente distinta. En la Tabla 2-1 y en la Tabla 2-2 se pueden ver los datos obligatorios en cada tipo.

En los mensajes de navegación:

Dato	Obligatorio	
	Clase A	Clase B
Posición	SÍ	SÍ
Velocidad sobre fondo	SÍ	SÍ
Rumbo sobre fondo	SI	SÍ
Precisión de la posición	SÍ	SÍ
Fecha y hora	SÍ	SÍ
MMSI	SÍ	SÍ
Rumbo verdadero	SÍ	NO
Velocidad de caída	SÍ	NO
Estado de navegación	SÍ	NO

**Tabla 2-1 Mensajes de navegación AIS.**

En los mensajes suplementarios:

Dato	Obligatorio	
	Clase A	Clase B
MMSI	SÍ	SÍ
Distintivo Radio	SÍ	SÍ
Nombre	SI	SÍ
Tipo de barco/cargo	SÍ	SÍ
Dimensiones del barco	SÍ	SÍ
Número IMO	SÍ	NO
Tipo de sistema de posicionamiento	SÍ	NO
Calado	SÍ	NO
Destino	SÍ	NO
ETA (Estimated Time of Arrival)	SÍ	NO

Tabla 2-2 Mensajes suplementarios AIS.

### 2.2.3 S-AIS (Satellite AIS)

Esta primera solución planteada por la Organización Marítima Internacional se ve limitada por el alcance horizontal de las antenas VHF, que es de aproximadamente 30-40MN. Por esta razón se ha desarrollado el AIS satélite.

El AIS satélite [9] emplea las emisiones VHF/UHF en combinación con una constelación de satélites, tecnología que ya había sido probada. Los satélites empleados son de órbita baja o LEO (*Low Earth Orbit*), que proporcionan una huella satélite de unas 1770MN. Así se consigue una visión más completa de la situación marítima en tiempo real.

Esta tecnología, sin embargo, presenta algunos inconvenientes en su integración con los equipos AIS actuales:

- Se ve limitada por características de la antena como la baja potencia de transmisión y su ubicación en el barco, ya que no es la más idónea para las comunicaciones satélite.
- Algunos mensajes son demasiado cortos, lo que puede generar que la transmisión no dure el tiempo suficiente para que el satélite incluya el mensaje en su buffer.
- Estudios y simulaciones demostraron que este sistema proporcionaba una probabilidad de detección mayor del 99% en zonas de poca densidad de tráfico. Sin embargo, esta probabilidad cae significativamente en zonas de gran densidad.

Algunas marcas como ORBCOMM® [10] o exactEarth® [11] han desarrollado sus propios equipos para el empleo de AIS satélite superando estos obstáculos y proporcionando numerosas funcionalidades como ver mapas de densidad o controlar las rutas realizadas por barcos desde el último puerto (Figura 2-4).

Este servicio también se encuentra disponible en forma de páginas web, como es el caso de Marine Traffic. Esta página combina la información procedente de estaciones AIS terrestres e información del



servicio de AIS satélite de Orbcomm. En el momento de la consulta de la Figura 2-3 se mostraba la información de más de 169.000 barcos de todo el globo.

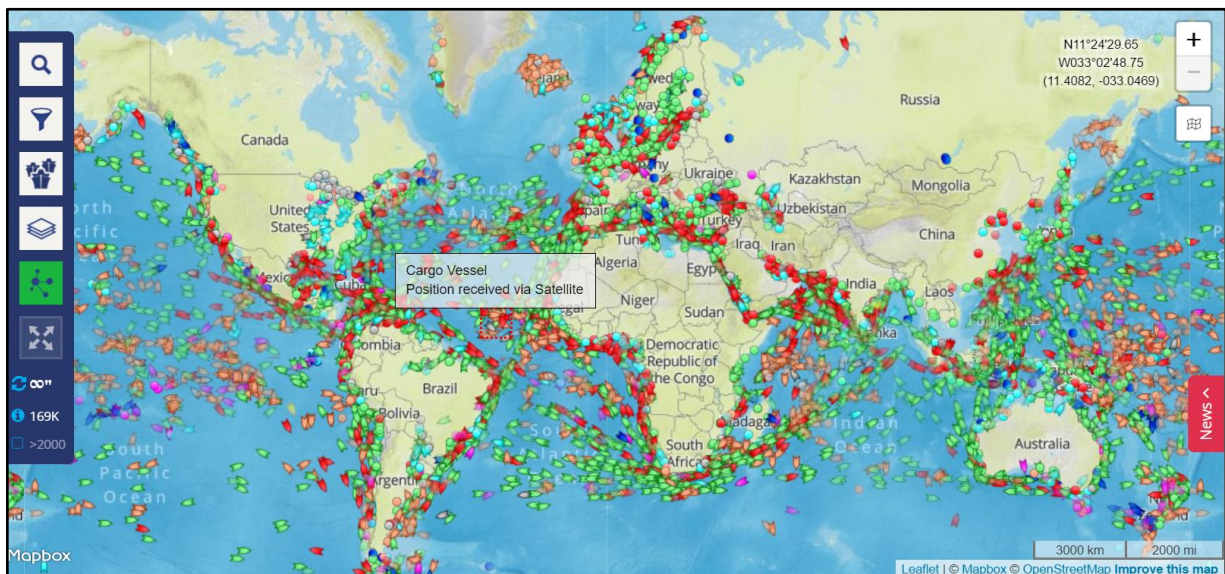


Figura 2-3 Vista de la página de Marine Traffic [32].

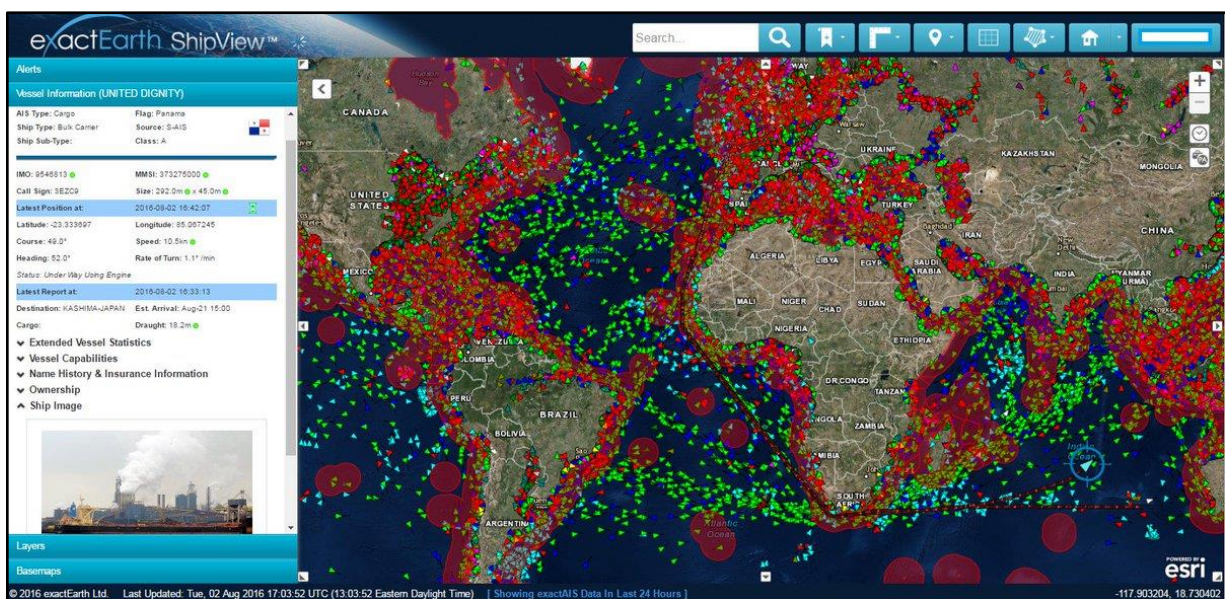


Figura 2-4 Vista de ExactEarth [30].

## 2.3 Sistema de posicionamiento global (GPS)

### 2.3.1 Introducción

En este apartado se describe la estructura y funcionamiento del GPS, ya que es el sistema de posicionamiento empleado en este proyecto.

El GPS (“*Global Positioning System*”) es un sistema de posicionamiento que permite obtener nuestra posición en forma de coordenadas de latitud y longitud. Además de la posición permite medir también la velocidad y el rumbo de la embarcación comparando distintas posiciones en el tiempo. Este sistema

es un servicio propiedad de los EE.UU. y está constituido por tres segmentos: segmento espacial, segmento de control y segmento del usuario.

### 2.3.2 Segmento espacial

El segmento espacial del GPS consiste en una constelación de satélites que transmiten señales radio a los usuarios. El gobierno de EE.UU. mantiene al menos 24 satélites GPS operativos durante el 95% del tiempo. Para poder conseguir esto, la fuerza aérea estadounidense ha mantenido en órbita 31 satélites GPS en los últimos años.

Los satélites de la constelación tienen una órbita MEO (*“Medium Earth Orbit”*), con una altitud aproximada de 20.200km. Cada satélite da la vuelta a la tierra dos veces al día. Se distribuyen en seis planos orbitales, con una inclinación de 55 grados. Las órbitas están sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra (Figura 2-5). Esta disposición garantiza que los usuarios puedan recibir la señal de al menos 4 satélites en todo momento [12].

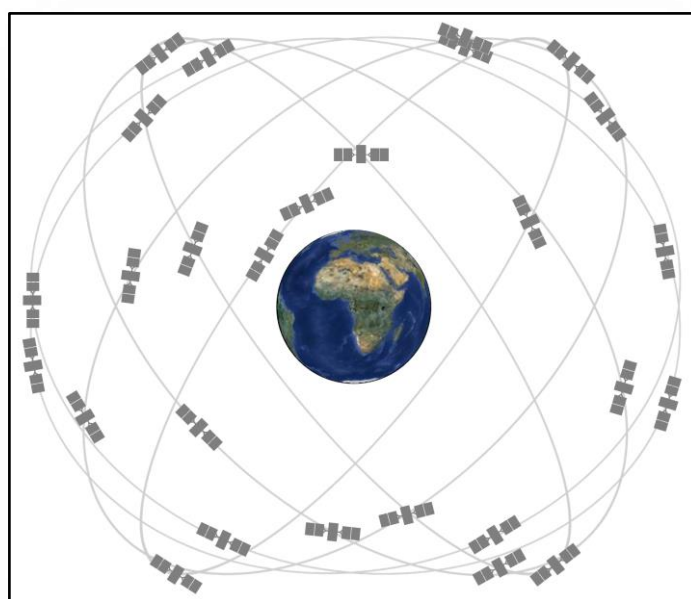


Figura 2-5 Constelación GPS [12].

### 2.3.3 Segmento de control

El segmento de control del GPS consiste en una red global de servicios en tierra cuya función es monitorizar la transmisión de los satélites, realizar análisis y enviar instrucciones e información a las constelaciones.

El actual segmento de control incluye una estación principal de control, 11 antenas de mando y control y 15 estaciones de monitorización. La localización de estos servicios se puede ver en la Figura 2-6.

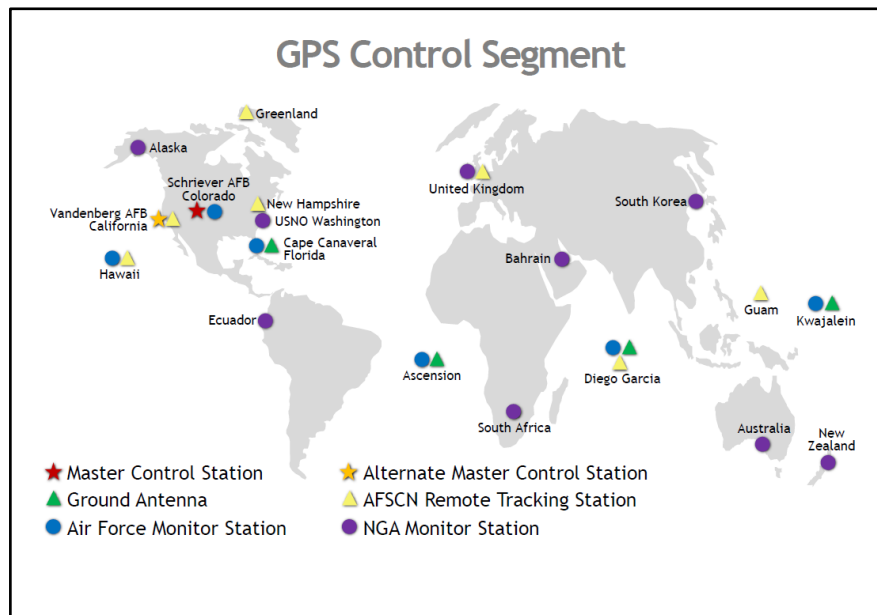


Figura 2-6 Segmento de control GPS [12].

La estación de control principal es donde el 2SOPS (“*Air Force’s 2nd Space Operations Squadron*”) lleva a cabo las funciones primarias del segmento de de control, proporcionando mando y control a la constelación GPS. Esta estación genera y actualiza los mensajes de navegación y se asegura de la integridad y la precisión de los satélites. Recibe información de las estaciones de monitorización y la emplea para calcular la localización exacta de los satélites en el espacio.

El 2SOPS emplea la estación de control principal para desempeñar el mantenimiento del segmento espacial y resolución de anomalías. En el caso de un fallo en los satélites, la estación de control principal sería la encargada de reposicionar los satélites para mantener un buen funcionamiento del sistema.

Las estaciones de monitorización rastrean los satélites GPS y envían los datos obtenidos a la estación de control principal. Recopilan información atmosférica, medidas de distancia y señales de navegación. Hay 15 estaciones de monitorización ubicadas por todo el mundo, incluyendo 6 de la fuerza aérea estadounidense y 9 de la NGA (“*National Geospatial-Intelligence Agency*”).

Existen 4 antenas en tierra que se localizan en: Cabo Cañaveral, Isla Ascensión, Diego García y Kwajalein. Estas antenas se comunican con el segmento espacial para propósitos de mando y control. Soportan comunicaciones en banda S que transmiten actualizaciones de la información para la navegación y recogen información de la telemetría. Permiten al 2SOPS resolver posibles fallos en la constelación de satélite [12].

### 2.3.4 Segmento del usuario

Este último segmento se refiere a los instrumentos o aplicaciones con las que las personas hacen uso del sistema GPS. El GPS se ha convertido en una de las infraestructuras de información más empleadas hoy en día y se encuentra en multitud de objetos desde los teléfonos móviles y los relojes de muñeca a los contenedores de los barcos mercantes. Sus funcionalidades son también muy variadas y actualmente se emplea para actividades tan diversas como son: la navegación, la vigilancia, la sincronización horaria, etc. [12].

Es en este segmento en el que se centra este trabajo, ya que emplea una antena receptora GPS para conseguir su objetivo, mantener controlada la posición de las embarcaciones de la Escuela Naval Militar para poder llevar a cabo una correcta vigilancia de actividades de los alumnos como puede ser la instrucción marinera o las salidas en las lanchas de instrucción.



### 2.3.5 Funcionamiento del sistema

El sistema es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y en la actualidad es el único sistema de navegación por satélite que se encuentra totalmente operativo.

El receptor puede obtener su posición mediante señales radio que recibe de los satélites. Cada satélite envía 2 señales en banda L (“L1” y “L2”) y cada una de estas señales incluye un código pseudoaleatorio y los datos de efemérides del satélite. El código pseudoaleatorio sirve para identificar al satélite de la constelación y los datos de efemérides del satélite dan información del tipo: estado del satélite, fecha y hora actuales, su posición en el espacio, datos doppler, etc.

Con esta información, el receptor decide si el satélite puede considerarse o no para la toma de posición y además sincroniza el reloj GPS. El tiempo en cada satélite es controlado por relojes atómicos a bordo, imprescindibles para conocer su posición.

El método que emplea el GPS para posicionarse es el de trilateración inversa, que consiste en realizar una triangulación a partir de la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Para posicionarse es necesario que obtenga las señales de al menos 3 satélites (Figura 2-7). La distancia se mide viendo el tiempo que tarda en llegar la señal al equipo. Cada satélite genera una esfera imaginaria con centro el propio satélite y de radio la distancia al receptor. Si sólo se tuviesen 2 señales, se obtendría una circunferencia resultante de la intersección de las 2 esferas, dentro de la cual estaría el receptor. Cuantos más satélites son visibles, mayor es la precisión.

Para poder determinar una posición 3D con exactitud (latitud, longitud y altitud), sería necesaria la información de un cuarto satélite, que elimina el posible problema de la falta de sincronización entre relojes [13].

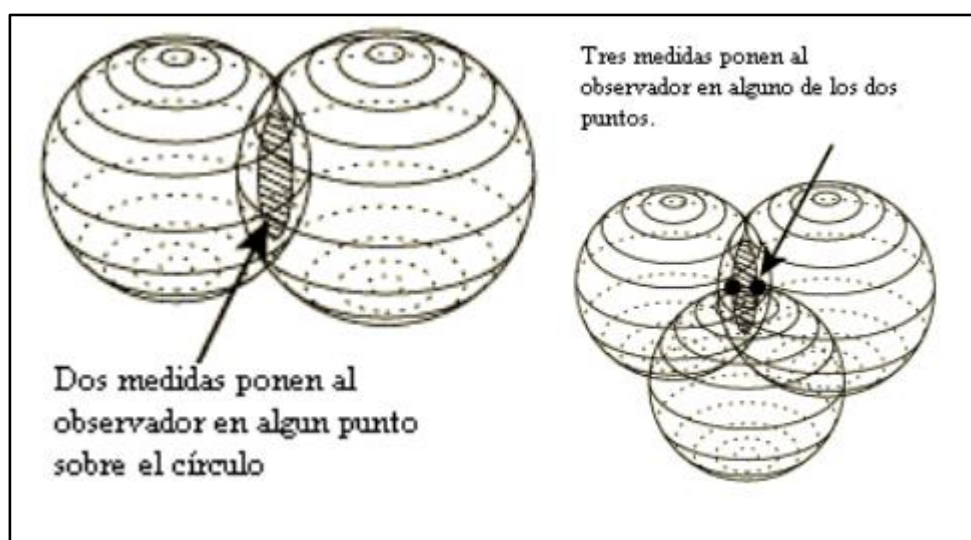


Figura 2-7 Funcionamiento de la triangulación de los satélites GPS [13].

## 2.4 OpenCPN

### 2.4.1 Introducción

El programa escogido para visualizar la posición proporcionada por el sistema del proyecto es OpenCPN, un programa de cartografía náutica digital de distribución libre. Es un programa diseñado por un grupo de desarrolladores dirigidos por Dave Register. Se creó para proporcionar una posición precisa en las cartas digitales durante la navegación y también sirve como herramienta para planear las derrotas [14].

### 2.4.2 Cartas náuticas

Las cartas náuticas son mapas con fines específicos que están diseñadas especialmente para la navegación marítima, incluyendo, entre otros, datos como la sonda, peligros y ayudas a la navegación. Representan gráficamente la información necesaria para realizar la navegación. Esta información se puede representar en formato papel o en formato digital (Figura 2-8).

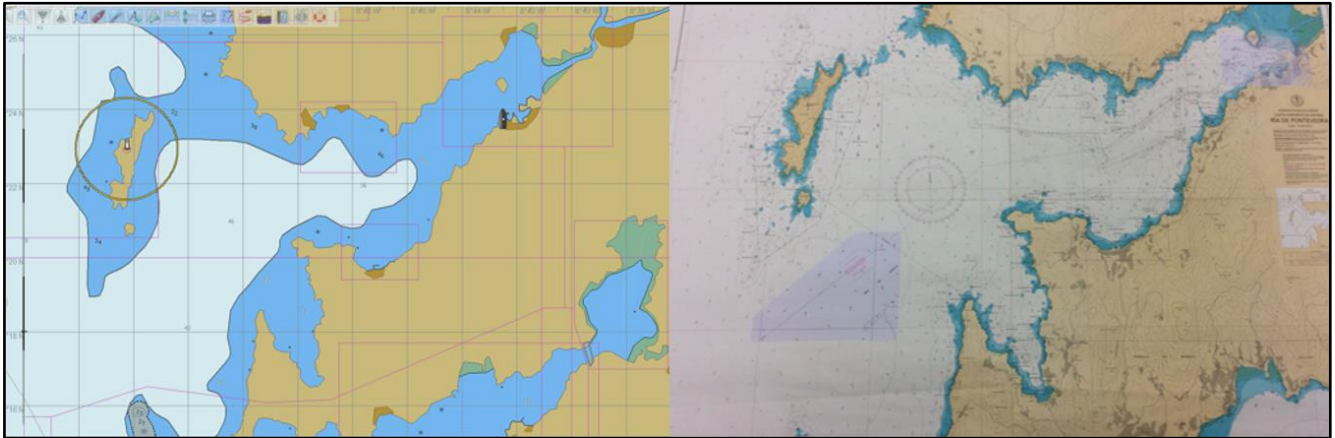


Figura 2-8 Carta náutica digital (izquierda) y en papel (derecha).

En los años 60 comenzó la digitalización de los datos hidrográficos y en los años 70 se empiezan a usar programas informáticos para la creación de las cartas en papel. Ya a partir de los años 80 se empieza a ver la posibilidad de las cartas en formato digital.

Las cartas náuticas digitales presentan ciertas ventajas frente a sus homólogas en papel:

- Las cartas digitales permiten que las situaciones se muestren prácticamente en tiempo real empleando los sistemas de navegación por satélite como el GPS.
- Capacidad de integrar distintos datos de importancia para la navegación procedentes de distintos sistemas: GPS, corredera, radar, AIS, giroscópica, etc.

Las cartas digitales pueden ser de dos tipos:

- Raster: representan una imagen escaneada de una carta en papel, por lo que por mucho que se amplíen no proporcionarán más información.
- Vectorial: formadas por una base de datos que se pueden tratar informáticamente y que representan esta información de manera continua.

Además, las cartas vectoriales tienen otra división más. Pueden ser:

- ENC (*Electronic Navigational Chart*): son cartas vectoriales oficiales (en formato S-57) realizadas por servicios oficiales estatales. Empleadas junto un sistema ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) son el sustituto legal de las cartas de papel. El formato S-57 es una norma de la Organización Hidrográfica Internacional y es el formato digital para el intercambio de datos hidrográficos entre los servicios hidrográficos y entre estos y los usuarios finales de las ENC.
- DNC: son la cartografía náutica del ministerio de defensa de los EEUU en formato vectorial y se emplean habitualmente en buques de guerra.
- C-Map y Transas: son las cartas vectoriales comerciales, su uso sirve de ayuda a la navegación, pero no eximen del empleo de cartas en papel [15].

### 2.4.3 Cartas náuticas en OpenCPN

Las cartas náuticas más empleadas en OpenCPN son las cartas CM93. Estas cartas son cartas vectoriales comerciales (C-Map). Para su instalación, una vez descargadas de algún proveedor, se accede a las opciones en el menú de herramientas (Figura 2-9). En la pestaña cartas, se debe seleccionar la carpeta en la que están contenidas las cartas descargadas. Una vez realizada esta acción, el programa se encarga de seleccionar la carta más adecuada según la zona en la que se esté navegando. Además, el programa permite configurar la presentación de las cartas, pudiendo añadir o quitar detalles según las preferencias del usuario como se puede ver en la Figura 2-10.

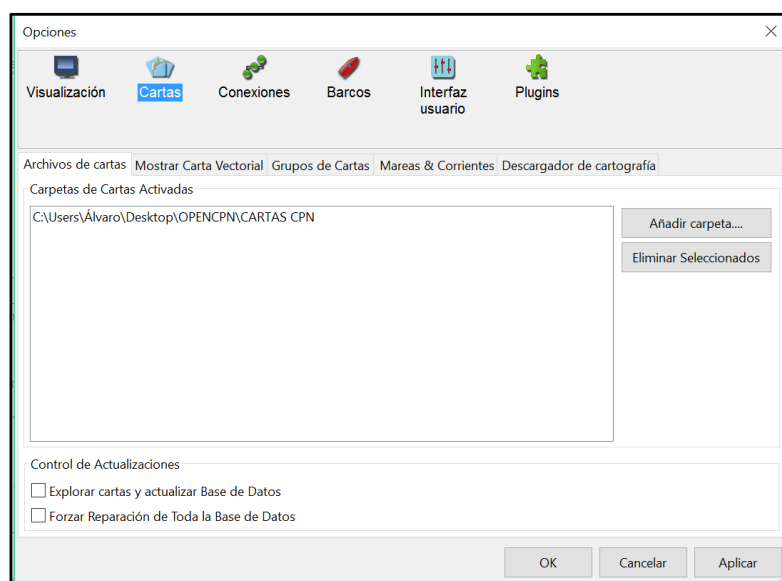


Figura 2-9 Instalación de cartas náuticas.

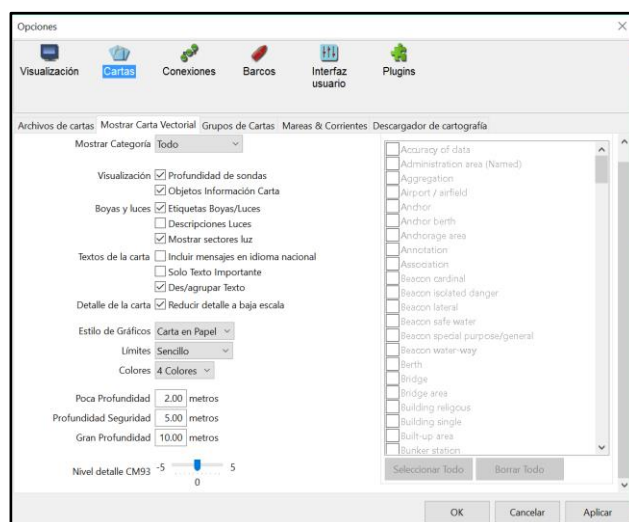


Figura 2-10 Menú de presentación de las cartas en OpenCPN.

OpenCPN es una plataforma óptima para el empleo de sistemas como el desarrollado en el proyecto, ya que permite configurar de manera sencilla las conexiones y está diseñado para la recepción tanto de datos NMEA como de datos procedentes del AIS. Además, cuenta con otras ventajas como son: herramientas para planeamiento de derrotas, integración de GPS o recepción de datos NMEA, configurar piloto automático y activación de alarmas basadas en distintos sensores.

## 2.5 Sentencias NMEA

Es necesario conocer la estructura de las sentencias NMEA, ya que es la que sigue el envío de los datos procedentes del GPS.

*The National Marine Electronics Association* es una organización a nivel mundial, cuyo cometido es mejorar la tecnología y seguridad de los aparatos electrónicos empleados en la mar [16]. Esta organización ha desarrollado una especificación que define la interfaz entre varios equipos electrónicos. Este estándar permite a los equipos enviar información a ordenadores o a otros equipos. Gracias a esta unificación de protocolos y conexiones, hoy en día es posible que los aparatos diseñados por distintos fabricantes puedan comunicarse entre sí. El uso de NMEA está muy extendido, gracias a la popularidad que le ha dado su empleo en los GPS. La comunicación de estos receptores está definida por esta especificación. Muchos programas para ordenador son compatibles con este tipo de datos, como es el caso de OpenCPN.

Los datos enviados siguiendo esta norma se conocen como sentencias NMEA. Cada aparato electrónico tiene su propio tipo de sentencias, también algunas marcas como Garmin o Magellan tienen las suyas propias. Todas las sentencias tienen un prefijo de 2 letras que se corresponden con el aparato que las utiliza. En el caso de las sentencias GPS, que son las que se tratan en este proyecto, el prefijo es GP.

Las sentencias empiezan con un '\$' y terminan con una secuencia tipo '<CR> <LF>' (*Carriage Return, Line feed*) y pueden contener hasta 82 caracteres. La cantidad de información contenida en las sentencias dependerá del grado de precisión que contenga el mensaje. Cada dato de la sentencia viene separado de los otros por comas. Además, cuentan con un *checksum* al final de la sentencia que viene precedido por un '\*', que sirve para detectar errores en los datos enviados.

La velocidad de transmisión de datos en los GPS puede variar de un modelo a otro, pero el estándar es de 4800 b/s, lo que permite enviar unos 480 caracteres por segundo. Con esta velocidad la transmisión de datos se ve limitada a menos de 6 tipos de sentencias NMEA por segundo (si emplean los 82 caracteres). Aunque hoy en día algunos aparatos pueden tener una velocidad de 9600 b/s. Las sentencias enviadas son recibidas por el programa que las vaya a emplear. El retardo existente entre que se envían y son recibidas será admisible o no en función de la velocidad del barco.

OpenCPN, además de permitir configurar el tipo de conexión, permite aceptar o ignorar las sentencias NMEA según el tipo. Las sentencias NMEA GP más importantes son [17]:

- GGA: Global Positioning System Fixed Data.
- GLL: Geographic Position- Latitude/Longitude.
- GSA: GNSS DOP and Active Satellites.
- GSV: GNSS Satellites in view.
- RMC: Recommended Minimum Specific GNSS Data.
- VTG: Course Over Ground and speed over ground.
- ZDA: SiRF Timing Message.
- 150: OkToSend.

Las sentencias enviadas por el GPS empleado son del tipo: GGA, GSA, GSV, RMC y ZDA. El programa OpenCPN obtiene la información de las diversas sentencias, las combina y las muestra en una única presentación. Estas sentencias se detallan a continuación, con el fin de entender mejor los datos proporcionados por el GPS [18].

### 2.5.1 Sentencias GGA

Estas sentencias incluyen datos de tiempo, posición y adquisición de la posición del receptor GPS. Su formato es:

\$--GGA, hhmms.ss, lll.l, a, yyy.y, x, u, v, w, M, x, M, , zzz\*hh<CR><LF>

Dato	Nombre	Descripción
hhmms.ss	Tiempo UTC	Tiempo UTC en la posición en horas, minutos y segundos
lll.l	Latitud	Latitud en grados y minutos
A	Indicador N o S	N= Norte y S= Sur
yyy.y	Longitud	Longitud en grados y minutos
A	Indicador E o W	E= Este y W= Oeste
X	Indicador de calidad GPS	0: no adquirida 1: modo SPS 2: modo diferencial GPS
Uu	Satélites usados	Número de satélites usados
v.v	HDOP	Incertidumbre 2D horizontal
w.w	Altitud	Respecto al nivel del mar en metros
x.x	Separación de geoides	En metros
Zzzz	Identificación de estación DGPS	Sólo cuando se usa modo diferencial GPS
*hh	Checksum	Dígitos de comprobación

Tabla 2-3 Formato GGA [19].

### 2.5.2 Sentencias GSA

Estas sentencias incluyen datos de modo de operación del GPS, satélites empleados para obtener la posición de las sentencias GGA y la incertidumbre de los datos mostrados.

Su formato es:

\$--GSA, a, x, xx, xx, xx, xx, xx, xx, xx, xx, xx, xx, xx, xx, u, u, v, v, z, z\*hh<CR><LF>

Dato	Nombre	Descripción
A	Modo	M= manual, para operar en 2D o 3D A= Automático, puede cambiar de 2D a 3D
X	Modo	1= Posición no adquirida 2=2D 3=3D
Xx's	Identificación de los satélites	01-32 GPS, 65-96 Glonass. Hasta un máximo de 12 satélites
u.u	PDOP	Incertidumbre de la posición
v.v	HDOP	Incertidumbre horizontal
z.z	VDOP	Incertidumbre vertical
*hh	Checksum	Dígitos de comprobación

Tabla 2-4 Formato GSA [19].

### 2.5.3 Sentencias GSV

Estas sentencias incluyen datos de número de satélites visibles, números de identificación de los satélites, elevación, azimut y relación señal a ruido.

Su formato es:

\$--GSV,x,u,xx,uu,vv,zzz,ss,uu,vv,zzz,ss,...,uu,vv,zzz,ss\*hh<CR><LF>

Dato	Nombre	Descripción
X	Número de mensajes	Número total de mensajes GSV para ser transmitidos
U	Número de secuencia	Número de secuencia del mensaje GSV actual
Xx	Satélites visibles	Número total de satélites visibles
Uu	Identificación de satélites	01-32 GPS, 65-96 Glonass. Hasta un máximo de 4 satélites
Vv	Elevación	Elevación del satélite en grados
Zzz	Azimut	Azimut del satélite en grados
Ss	SNR	Relación señal a ruido
*hh	Checksum	Dígitos de comprobación

Tabla 2-5 Formato GSV [19].

### 2.5.4 Sentencias RMC

Estas sentencias incluyen datos como tiempo, fecha, posición, rumbo y velocidad proporcionados por el GPS.

Su formato es:

\$--RMC,hhmmss.sss,x,lll.lll,a,yyyyy.yyy,a,x.x,u.u,xxxxxx,v,\*hh<CR><LF>

Dato	Nombre	Descripción
Hhmmss.sss	Tiempo UTC	Tiempo UTC en horas, minutos y segundos
X	Estado	A= Información válida V= Aviso del receptor de navegación
Lll.lll	Latitud	Latitud en grados y minutos
A	Indicador N o S	N= Norte y S= Sur
Yyyyy.yyy	Longitud	Longitud en grados y minutos
A	Indicador E o W	E= Este y W= Oeste
x.x	Velocidad sobre fondo	En nudos
u.u	Rumbo sobre fondo	En grados
Xxxxxx	Fecha	Formato día-mes-año
V	Indicador de modo	N= Datos no válidos, A= Modo autónomo, D=Modo diferencial, E= modo estima
*hh	Checksum	Dígitos de comprobación

Tabla 2-6 Formato RMC [19].

### 2.5.5 Sentencias ZDA

Este tipo de sentencias incluyen datos como tiempo UTC, día, mes, año y hora local.

Su formato es:

\$--ZDA,hhmmss.sss,dd,mm,yyyy,xx,yy\*hh

Dato	Nombre	Descripción
Hhmmss.sss	Tiempo UTC	Tiempo UTC en horas, minutos y segundos
Dd	Día	De 01 a 31
Mm	Mes	De 01 a 12
Yyyy	Año	Con cuatro dígitos
Xx	Hora de la zona local	De 00 a +- 13
Yy	Minutos de la zona local	De 00 a 59
*hh	Checksum	Dígitos de comprobación

Tabla 2-7 Formato ZDA [19].

## 2.6 Redes MANET

### 2.6.1 Introducción y definición

El sistema desarrollado en este trabajo emplea una red MANET para la transmisión de los datos. Así, gracias a la red MANET, es posible visualizar prácticamente en tiempo real la posición de las embarcaciones que están siendo empleadas.

Una red MANET (*Mobile Ad Hoc Network*) consiste en un grupo de estaciones o nodos móviles que se comunican de manera inalámbrica, sin necesidad de la existencia de una infraestructura central preexistente. Esta característica de las redes MANET es de gran utilidad, ya que no siempre es posible disponer de una infraestructura cableada fija y además les permite ser desplegadas de una manera flexible. Los nodos pueden actuar tanto de *host* como de *routers*, ejecutando aplicaciones que utilizan la red o bien realizar tareas que ayuden al descubrimiento y mantenimiento de las rutas. Algunas de las características de estas redes son:

- Funcionamiento descentralizado: no hay ningún nodo central que se encargue de organizar o administrar la red, sino que cada nodo actúa de manera que se adapte a las necesidades de la red.
- Funcionamiento multisalto: para llegar de un nodo fuente a un nodo destino, los paquetes pueden realizar múltiples saltos entre varios nodos intermedios.
- Topología dinámica de la red: la red se adapta a los cambios, agregando a los dispositivos cuando entran en la red y eliminándolos cuando salen.
- Capacidades limitadas de los nodos: están limitados en energía y capacidad de procesamiento, por lo que es necesario emplear algoritmos que optimicen los recursos de los nodos.

En resumen, podemos decir que las redes MANET son un tipo de redes inalámbricas malladas, especializadas para entornos móviles y cuyas características principales son la alta flexibilidad, el dinamismo en la configuración de la red y el encaminamiento multisalto. En el ámbito militar son de gran utilidad, ya que las operaciones se realizan con frecuencia en lugares donde no existe una infraestructura previa para las comunicaciones o ésta es inadecuada. Las redes MANET permiten crear



redes bajo demanda a medida que las necesidades lo exijan, siendo por ello muy adecuadas en estos entornos [20].

### 2.6.2 Protocolos de encaminamiento

Los protocolos de encaminamiento de las redes MANET tienen que cumplir ciertos requisitos como son:

- Permitir el envío de paquetes mediante el multisalto, ya que muchas veces el nodo destino no se encuentra en el radio de alcance del nodo fuente.
- Evitar el envío de paquetes repetidos, es decir, que un nodo reciba un paquete más de una vez.
- Minimizar el empleo de recursos, ya que estas redes tienen unas capacidades limitadas.
- Adaptarse a la topología cambiante de la red.

Los distintos protocolos de encaminamiento se clasifican según el método que empleen para determinar las rutas que van a seguir los paquetes. Se pueden clasificar en:

- Protocolos reactivos: únicamente construyen la ruta entre el nodo fuente y el nodo destino cuando el nodo fuente intenta mandar un paquete. El proceso de descubrimiento de la ruta no se realiza a menos que se vaya a realizar una transmisión. Esto hace que el tiempo de establecimiento de la conexión sea mayor, pero por otro lado se reduce el uso del espectro, ya que no emplea paquetes de señalización y control constantes para actualizar la topología de la red.
- Protocolos proactivos: en este protocolo se intercambian continuamente paquetes de control y señalización para conseguir actualizar las tablas de encaminamiento. Estos paquetes consumen ancho de banda de la red. Gracias a estas actualizaciones, el establecimiento de una nueva ruta se realiza de manera rápida. Estos protocolos no son eficientes en el caso de redes con nodos de alta movilidad o redes muy grandes, debido al tamaño que terminan alcanzando las tablas de encaminamiento.
- Protocolos híbridos: combinan los dos protocolos anteriormente mencionados. Su funcionamiento se basa en agrupar los nodos en grupos o zonas, de esta forma las rutas hacia otro nodo de su zona emplean un encaminamiento proactivo y para descubrir zonas hacia nodos lejanos emplean un encaminamiento reactivo.
- Protocolos con calidad de servicio: intentan buscar rutas que garanticen unos requisitos mínimos de calidad de servicio. Conseguir estos mínimos no siempre es posible en las redes MANET debido a su carácter impredecible. Deben adaptarse rápidamente en el caso de que alguna ruta no garantice la calidad de servicio mínimo o se rompa.

Por tanto, el encaminamiento OLSR resulta adecuado para redes móviles de gran tamaño, ya que optimiza el uso de recursos. El rendimiento de este protocolo con respecto a otros protocolos proactivos, incrementa a medida que aumenta el tamaño de la red [20].

### 2.6.3 Ventajas e inconvenientes

Las redes MANET se componen de estaciones o nodos móviles, lo que les proporciona ciertas ventajas respecto a otros tipos de redes inalámbricas, como son:

- Facilidad y rapidez en su despliegue.
- Rentables desde el punto de vista económico.
- Independencia de la infraestructura, al no existir ningún nodo central.
- Buena escalabilidad.

Por otro lado, estas redes presentan ciertos inconvenientes:

- Alcance limitado de los nodos.

- Ancho de banda limitado

## 2.7 Encaminamiento OLSR

### 2.7.1 Introducción

El encaminamiento empleado en la red MANET del sistema es un encaminamiento del tipo OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*). Se trata de un encaminamiento proactivo, que emplea el método de “retransmisión multipunto por inundación” para optimizar el encaminamiento. Al tratarse de un protocolo proactivo tiene la ventaja de que las tablas de encaminamiento se mantienen actualizadas constantemente. Por otro lado, uno de los principales inconvenientes de los protocolos proactivos es, como ya se ha mencionado anteriormente, el empleo de mensajes de control que consumen recursos. Es por eso que el OLSR utiliza MPR (*Multi Point Relay*). Los MPR son los encargados de retransmitir paquetes broadcast en la fase de inundación y el número de MPR es inferior al número de nodos, por lo que se disminuye la carga que suponen los paquetes broadcast para actualizar las tablas de encaminamiento. Además, únicamente los nodos que actúan como MPR son los que generan los mensajes del estado de la red, por lo que se libera la red del tráfico de este tipo de mensajes. Este tipo de protocolo funciona muy bien en redes grandes y densas. Cuanto más densas sean las redes, mayor será la optimización lograda al emplearlo [21].

### 2.7.2 Multipoint Relays (MPR)

La idea de estos nodos es minimizar el flujo de mensajes broadcast en la red, reduciendo retransmisiones duplicadas en una misma región. Cada nodo de la red selecciona un grupo de nodos entre sus vecinos, quienes retransmitirán sus paquetes. Este grupo de nodos seleccionados son los MPR (Multipoint Relays) de ese nodo. Los nodos vecinos de un nodo N que no forman parte de los MPR reciben y procesan la información del mensaje, pero no lo retransmiten.

Cada nodo selecciona su grupo de MPR entre sus vecinos a un solo salto, de manera que este grupo sea capaz de cubrir, en términos de alcance, todos los nodos que se encuentren a 2 saltos de distancia como se puede ver en la Figura 2-11, en la que los nodos en negro son los MPR. El grupo de MPR de un nodo N, llamado MPR(N), es un grupo arbitrario de los vecinos de N que cumple la siguiente condición: todo nodo entre los vecinos a 2 saltos de N debe tener enlace bidireccional con los MPR(N). Cuanto más pequeño es el grupo de MPR, mejor es el protocolo de encaminamiento [22].

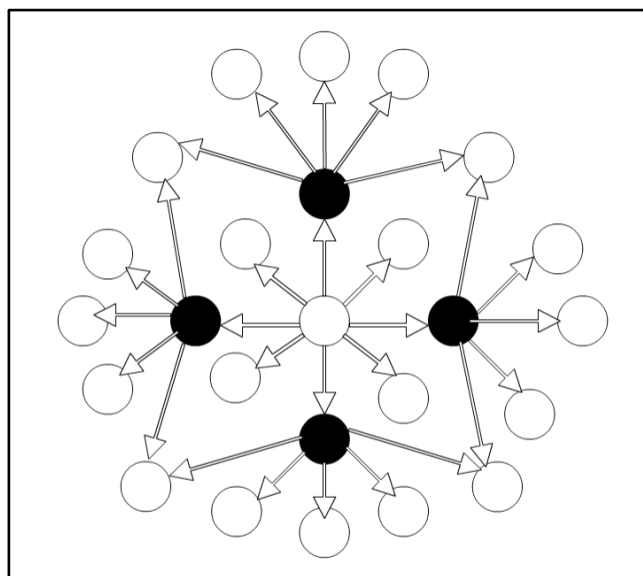


Figura 2-11 Esquema de MPR.

### 2.7.3 Funcionamiento del protocolo

En este apartado se explica de forma breve el funcionamiento del protocolo: detección de vecinos, selección de MPR, declaración de información de los MPR y cálculo de las tablas de enrutamiento.

#### 2.7.3.1 Detección de nodos vecinos

Cada nodo debe detectar los nodos vecinos con los que tiene enlace bidireccional. Algunos enlaces, debido a las condiciones de la propagación, pueden ser únicamente posibles en una dirección. Por este motivo es preciso comprobar el enlace en ambas direcciones para considerarse válido.

Para conseguir esto, cada nodo envía periódicamente mensajes *HELLO* (Figura 2-12), que contienen información acerca de sus vecinos y de su estado de enlaces. Estos mensajes de control son transmitidos en modo broadcast y son recibidos por los vecinos a un salto, pero no son retransmitidos a más nodos. El mensaje *HELLO* contiene:

- La lista de direcciones de los vecinos con los que tiene un enlace bidireccional válido.
- La lista de los vecinos que son escuchados por este nodo (ha recibido un *HELLO* de ellos), pero el link no ha sido validado todavía como bidireccional. Si un nodo recibe su dirección en un mensaje *HELLO*, considera el enlace con el nodo emisor como un enlace bidireccional válido.

Estos mensajes permiten a cada nodo conocer los enlaces con sus vecinos hasta a 2 saltos de distancia. De esta forma elaboran las tablas de vecinos, que contienen información de sus vecinos a un salto, el estado de enlace con esos vecinos y una lista de los vecinos a 2 saltos a los que los nodos dan acceso [22].

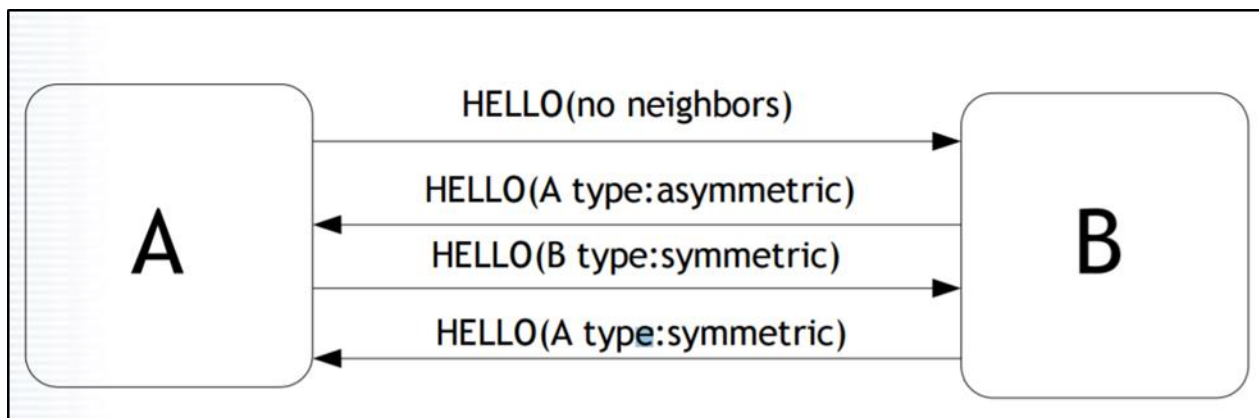


Figura 2-12 Detección de nodos vecinos mediante el mensaje HELLO [23].

#### 2.7.3.2 Selección de los MPR

Cada nodo de la red selecciona de manera independiente sus MPR. Su grupo de MPR es calculado de tal manera que contiene un grupo de vecinos a un salto que cubren todos los nodos a 2 saltos de distancia. Para construir la lista de los nodos a 2 saltos de un nodo dado, es suficiente con seguir la lista de enlaces bidireccionales presentes en el mensaje *HELLO* recibido por ese nodo (esta información está almacenada en la tabla de vecinos). La selección de MPR no es necesariamente la óptima, pero debe ser lo suficientemente pequeña para lograr los beneficios de la retransmisión multipunto. Por defecto, el grupo de MPR puede coincidir con todos los vecinos a un salto. Éste es el caso del inicio de la red.

Los MPR de un nodo son declarados en el posterior mensaje *HELLO* transmitido por este nodo, de tal manera que la información llega a los mismos MPR. El grupo de MPR se actualiza cuando:

- Se detecta un cambio en la topología, bien porque falla un enlace bidireccional con un vecino o bien porque se incorpora un vecino a la red.
- Se detecta un cambio en los vecinos a 2 saltos.

Con la información obtenida en los mensajes *HELLO*, cada nodo además construye una tabla de selectores MPR, en la que se indican los vecinos a un salto que lo han seleccionado como MPR [22].

### 2.7.3.3 Declaración de información de los MPR

Para construir una base de datos interna, necesaria para encaminar los paquetes, cada nodo debe enviar mensajes de control llamados *Topology Control messages*. Los mensajes TC se transmiten en modo broadcast y, a diferencia de los mensajes *HELLO*, son de alcance global y deben llegar a toda la red. En este aspecto se consigue una mejor escalabilidad gracias a los MPR.

Cada nodo envía periódicamente un mensaje TC a la red para declarar sus selectores MPR. Cuando ocurre un cambio en estos selectores el mensaje TC será enviado antes del tiempo programado, pero después de que haya transcurrido un tiempo mínimo desde el anterior mensaje TC.

Cada nodo de la red mantiene una tabla de la topología de la red, en la que incluye la información de la topología obtenida de los mensajes TC. Con esta información se calculan las tablas de enrutamiento [22].

### 2.7.3.4 Cálculo de las tablas de enrutamiento

Cada nodo posee una tabla de enrutamiento que le permite calcular la ruta de los paquetes a otros destinos en la red. La tabla de enrutamiento se construye de manera descendente. Por ejemplo, si se quiere encontrar el camino de un nodo de origen a otro nodo R, ha de encontrarse el nodo X que tenga enlace con el nodo R (enlace X-R) y después encontrar el nodo Y que tenga enlace con el nodo X (enlace Y-X). Así hasta encontrar el nodo Y que tenga enlace con el nodo de origen del mensaje. Para conseguir encontrar los caminos óptimos, cada nodo seleccionará únicamente los enlaces con el coste mínimo.

Las entradas en la tabla de enrutamiento consisten en: dirección de destino, dirección del próximo salto y distancia estimada al destino [22].

## 3 DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1 Material empleado

En este apartado se describen las características técnicas de los equipos empleados en el proyecto.

#### 3.1.1 Raspberry Pi 2 model B

Este modelo de Raspberry Pi (Figura 3-1) pertenece a la segunda generación de las mismas y reemplaza a su modelo predecesor que es la Raspberry 1 Model B+. Este modelo se lanzó en febrero de 2015 y sus características, según la página oficial [24], son:

- Procesador quad-core ARM Cortex-A7 de 900MHz.
- Memoria RAM de 1GB.
- Procesador gráfico VideoCore IV 3D graphics core.
- 4 Puertos USB.
- 40 pines GPIO.
- Puerto HDMI.
- Puerto Ethernet.
- Salida de audio Jack 3.5mm.
- Conector CSI para cámara.
- DSI (*Display Interface*).
- Ranura para tarjeta micro SD.



Figura 3-1 Raspberry Pi 2 model B [24].

### 3.1.2 Adafruit Ultimate GPS Logger Shield

El GPS elegido para este proyecto es el Adafruit Ultimate GPS Logger Shield (Figura 3-2). Un módulo GPS de la marca Adafruit cuyas características, según la página de la marca [25], son:

- 66 canales, sensibilidad de -165dBm y actualización de 10Hz.
- Consumo de 20mA.
- Ranura Micro SD.
- *Real Time Clock battery* que proporciona hasta 7 años de alimentación.
- Conector UFL para antena externa.
- LED indicador de estado.

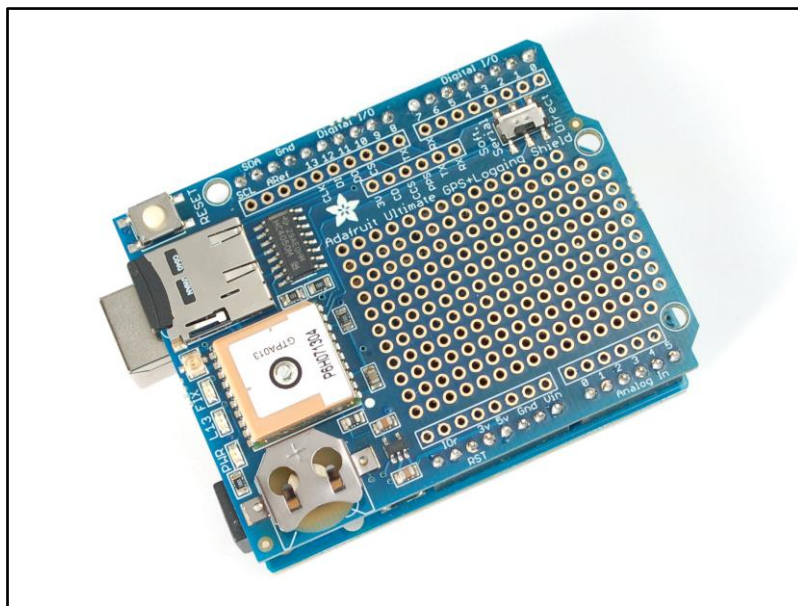


Figura 3-2 Adafruit Ultimate GPS Logger Shield [25].

### 3.1.3 Nano Station M2

La Nano Station M2 (Figura 3-3) será el equipo que haga de nodo ubicado en tierra dentro de la red mallada. El equipo se puede instalar en cualquier punto que tenga una toma de alimentación a la red eléctrica. A continuación, se detallan algunas de sus características y se muestra el diagrama de radiación de la anena (Figura 3-4).

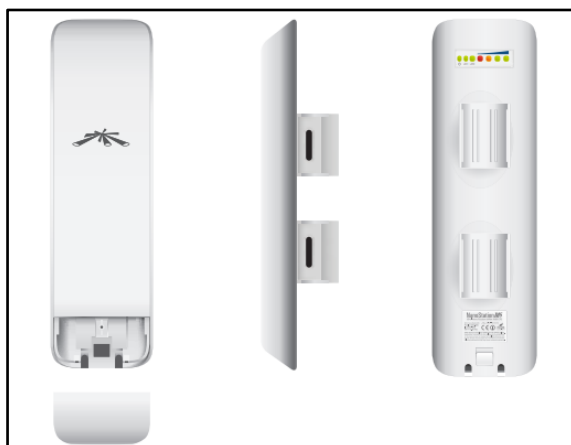


Figura 3-3 Nano Station M2 [1].

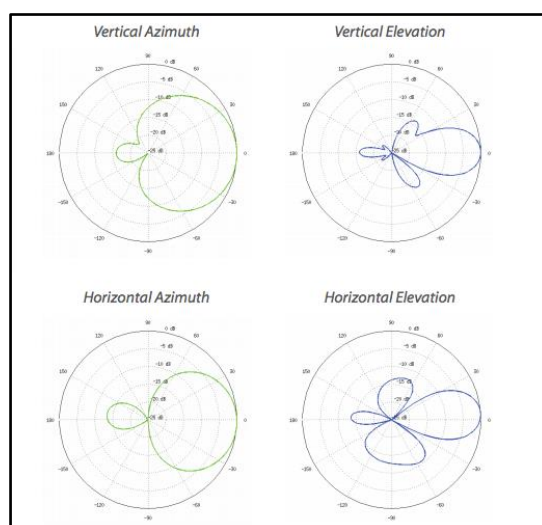


Figura 3-4 Diagrama de radiación de la antena [1]

Sus características son las siguientes [26]:

- Procesador Atheros MIPS 24KC, 400MHz.
- Memoria: 32MB SDRAM, 8MB.
- Interfaces de red: 2 x 10/100 BASE-TX.
- Conector RF: hembra tipo N integrado.
- Alimentación: 15V, 0,8 A mediante PoE (*Power over Ethernet*).
- Consumo máximo: 8W.
- Polarización: Dual lineal.
- Potencia de transmisión: máxima. 28dBm, +/-2dB en 11b/g/n.



- Sensibilidad de recepción: mínima -97dBm +/-2dB en 11b/g, mínima -96dBm +/-2dB en 11n.
- Ancho de Haz: Horizontal 55° y vertical 53°.
- Temperatura de operación: De -30° a +80°

## 3.2 Composición del sistema

En este apartado se describen las dos partes básicas del sistema, el segmento embarcado y el segmento terrestre.

### 3.2.1 Segmento embarcado

Esta parte del sistema es la que sería necesario llevar en la embarcación para que esta pueda ser localizada mediante el GPS y su posición pueda ser enviada a través de la red MANET al segmento terrestre. En la Figura 3-5 se puede ver una imagen del segmento embarcado, que debe ir dentro de una caja estanca para evitar que el dispositivo sea dañado por el agua. Se compone de una Raspberry Pi, un receptor GPS, una fuente de alimentación portátil y un punto de acceso. El GPS recibe los datos y los envía a través de los puertos GPIO (*General Purpose Input/Output*) a la Raspberry que procesa los datos y los envía a la red MANET empleando el punto de acceso. Además de los elementos de la imagen se debe emplear un alargador de antena.



Figura 3-5 Segmento embarcado.

### 3.2.2 Segmento terrestre

Esta parte tiene como propósito poder visualizar la información proporcionada por los segmentos embarcados. Para conseguirlo se emplea una antena integrada en la red MANET, que se conecta a un encaminador para hacer de pasarela entre esta red y la del ordenador en el que se quiere ver la información. En la Figura 3-6 se puede ver una imagen de los elementos de este segmento. Para poder desplegarlo es necesario un entorno en el que haya una toma de alimentación y una conexión a internet.





Figura 3-6 Segmento terrestre.

### 3.3 Configuración del sistema

#### 3.3.1 Configuración de la Raspberry Pi

La primera opción que se probó como sistema operativo para la Raspberry Pi fue Raspbian, pero con él no se logró conseguir integrar la Raspberry a la red mallada. El motivo está en la versión de los *drivers* que utiliza el sistema operativo para la tarjeta inalámbrica. En consecuencia, se decide instalar OpenWrt. Para instalarlo el primer paso es descargar la versión adecuada para nuestro sistema. La versión instalada en este caso es “*openwrt-brcm2708-bcm2709-sdcard-vfat-ext4.img*”. Se puede descargar en la página oficial de OpenWrt [27].

Una vez descargado el sistema operativo se procede a instalarlo en la tarjeta micro SD o SD. Para ello, hay que formatear primero la tarjeta. Esto puede hacerse mediante programas como “SD Card Formatter”. La copia de la imagen del sistema operativo se hizo con el programa “Win 32 Disk Imager” (Figura 3-7). En el que se debe seleccionar la carpeta en la que está la imagen para instalar y el puerto en el que se encuentra la tarjeta en el que será instalado.

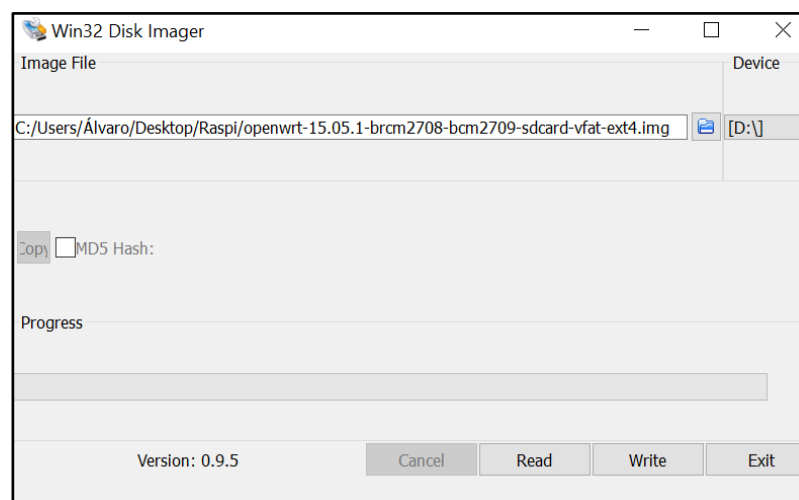


Figura 3-7 Instalación de la imagen de OpenWrt.



Estos comandos solo funcionan si el ordenador se encuentra en la misma subred que el dispositivo. Para asegurar esto es necesario que el *Network Manager* esté en modo manual y configurar la IP de la interfaz cableada dentro de la misma subred (por ejemplo, la dirección *192.168.1.10*). Con OpenWrt instalado ya se puede acceder a la configuración del dispositivo, bien mediante la interfaz gráfica web o bien mediante ssh.

Lo siguiente que debe hacerse para poder integrar el dispositivo en la red MANET es descargar los paquetes OLSR y LuCi tal y como se indica en [2].

### 3.3.3 Configuración de OLSR

La configuración del protocolo OLSR de los nodos puede realizarse mediante la interfaz gráfica LuCi. Para acceder a ella basta con introducir la IP del nodo que se quiere configurar en el navegador, después de haber descargado los paquetes de esta aplicación. Para averiguar la IP podemos acceder a la pestaña de estado dentro de la página de configuración del *router* (Figura 3-9), en la que nos mostrará los dispositivos conectados.

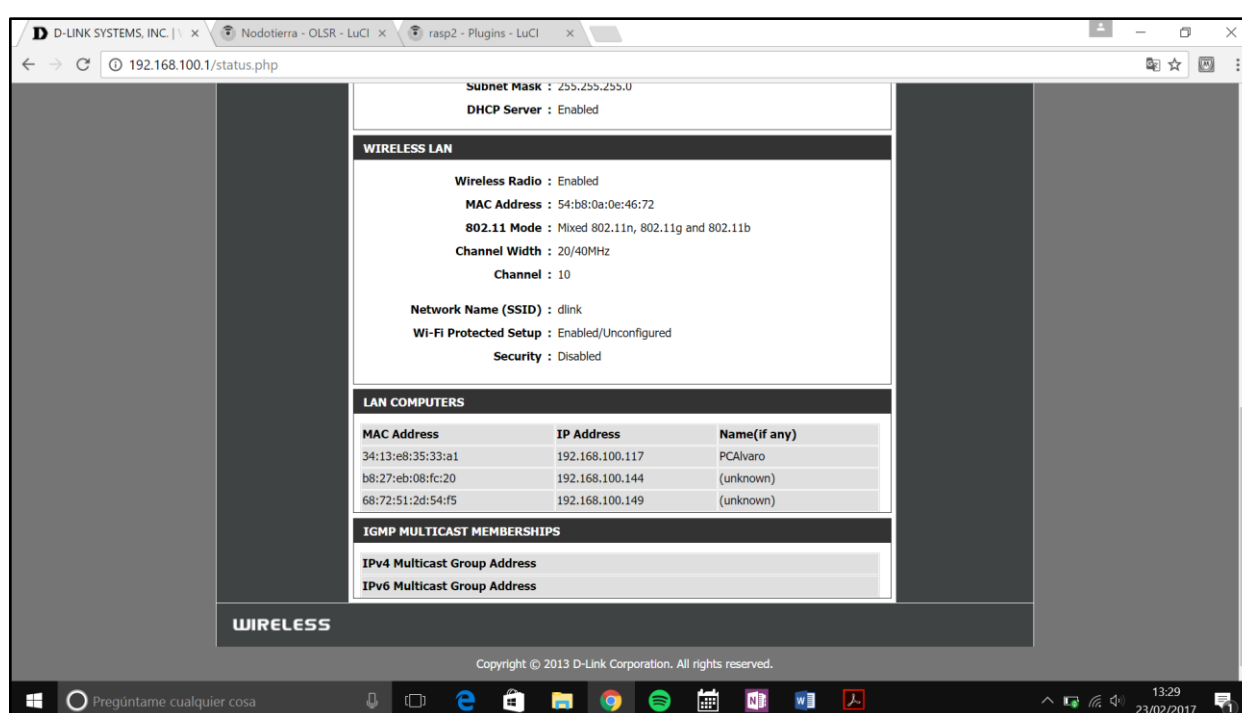


Figura 3-9 Estado de conexiones al router.

Se puede configurar el nombre de los distintos nodos que forman la red. Para ello hay que acceder a la pestaña “*system*” y en ajustes generales indicar este nombre en la casilla “*Hostname*”. Otro ajuste importante a realizar es permitir el acceso remoto por SSH a los nodos vecinos. Esto se consigue marcando la última opción que aparece en la pestaña de administración del sistema.

Una vez realizada esta configuración básica, el siguiente paso es configurar la interfaz de la red mallada. Para ello hay que acceder a la pestaña “*interfaces*” dentro de las opciones de red y seleccionar añadir una nueva interfaz. Esta ha de configurarse como una interfaz inalámbrica y con una IP estática. La IP de cada nodo debe configurarse de tal manera que estos se encuentren en la misma subred. En este caso se ha elegido la subred *172.29.177.0/16*.

Para permitir que la OLSR pueda funcionar hay que realizar una última modificación a los parámetros de la interfaz añadida. Para esto hay que acceder a las opciones de “*Wifi*” en la pestaña de red. Es necesario que todos los nodos se configuren en el mismo canal. En este proyecto se ha elegido el canal 3 (2,422 GHz). Otros parámetros a editar son la ESSID (*External Service Set ID*) o nombre de

la red, el modo de funcionamiento y la interfaz empleada. Para la red mallada se configurarán los nodos en modo Ad-Hoc y se empleará la interfaz Wlan0.

Como ya se ha mencionado en la configuración del dispositivo NanoStation M2, este hace la función de pasarela para interconectar la red MANET con la red empleada por el ordenador en el que se lleva a cabo el control de las embarcaciones. Para que realice esta acción debe anunciar a los demás nodos la conectividad a esta red externa mediante un mensaje HNA. Un mensaje HNA (*Host and Network Association*) anuncia a los demás nodos que el nodo de origen del mensaje permite el acceso a otra red externa. Este mensaje se configura en el apartado de servicios de OLSR IPv4. Para añadir el mensaje HNA (Figura 3-10) hay que indicar la dirección y máscara de la red. En este proyecto se trata de la dirección 192.168.100.0 y la máscara de red 255.255.0.0, que es la red del encaminador al que se conecta el ordenador con OpenCPN de dirección IP 192.168.100.117.

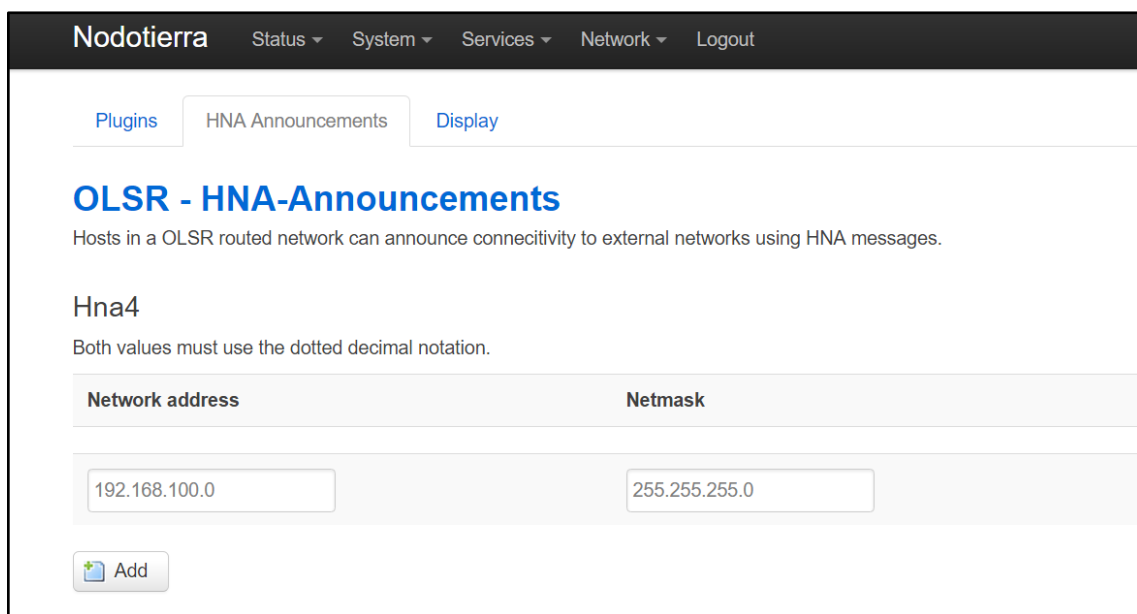


Figura 3-10 Mensaje HNA.

Llegados a este punto los nodos deberían poder detectarse. Para ver si esto es así se debe acceder al estado de OLSR y se verá algo como lo mostrado en la Figura 3-11.

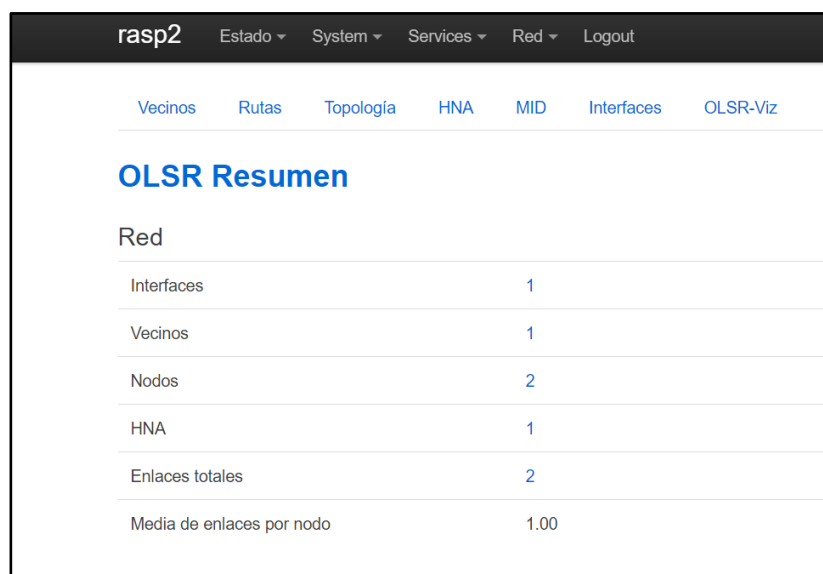


Figura 3-11 Estado de OLSR.

Si no es así puede deberse a los *plugins*. Es recomendable que todos los nodos lleven activados los mismos *plugins* para evitar problemas. Los *plugins* se activan y desactivan en la pestaña de servicios de OLSR IPv4 (Figura 3-12).

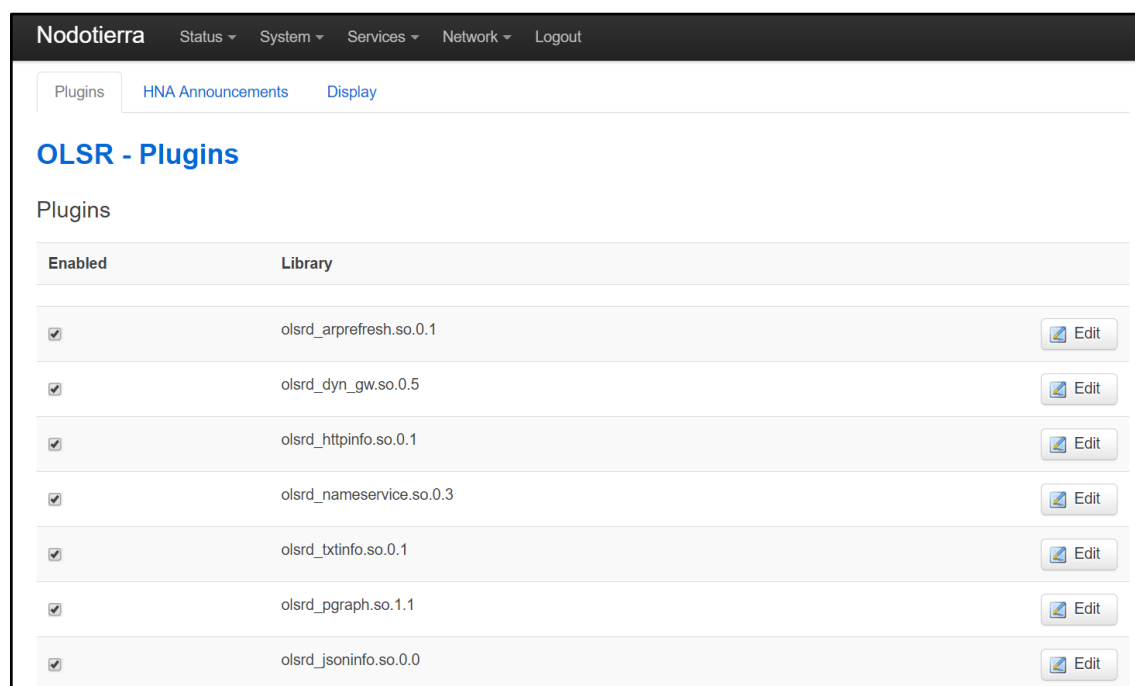


Figura 3-12 OLSR plugins.

### 3.3.4 Integración del GPS Adafruit en la Raspberry Pi (Hardware)

La forma elegida para conectar el GPS a la Raspberry Pi, debido a las características físicas de los dos dispositivos es a través de la UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). La UART es el elemento clave de un sistema de comunicaciones serie y se encuentra integrado en la placa de la Raspberry. Permite manejar las interrupciones de la conexión y recibir los datos del GPS y transmitirlos a través de los distintos puertos. El acceso a la UART de la Raspberry se hace mediante los puertos GPIO.

Los puertos GPIO (*General Purpose Input/Output*), son pines genéricos cuyo comportamiento se puede controlar mediante programación. Estos pines no suelen tener un propósito definido, lo que hace que se puedan emplear en multitud de aplicaciones. La gran flexibilidad de estos puertos hace que se empleen para la lectura de un gran número de sensores desde infrarrojos o temperatura hasta receptores GPS, así como para el envío de datos. La Raspberry Pi empleada tiene 26 pines GPIO. Su distribución es la que puede observarse en la Figura 3-13.

Los cables deben disponerse como se muestra en la Figura 3-14. Para la alimentación del GPS son necesarios 2 cables, uno que vaya del pin de toma de tierra del GPS al pin de toma de tierra de la Raspberry y otro que vaya del pin de entrada de voltaje de 3V del GPS a la salida de voltaje de la Raspberry. Para la transmisión de datos también son necesarios 2 cables, que van desde el pin de transmisión de uno de los sistemas al pin de recepción del otro y viceversa. Este último paso es importante, ya que si se conecta uno de los pines de transmisión al otro no se recibirán los datos.

Una vez realizada la conexión, para comprobar que esta se ha hecho correctamente se enciende la Raspberry Pi. Si al realizar esta acción se enciende el led power del receptor GPS, la instalación se habrá hecho correctamente, de lo contrario es necesario comprobar las conexiones o el estado de los puertos GPIO.

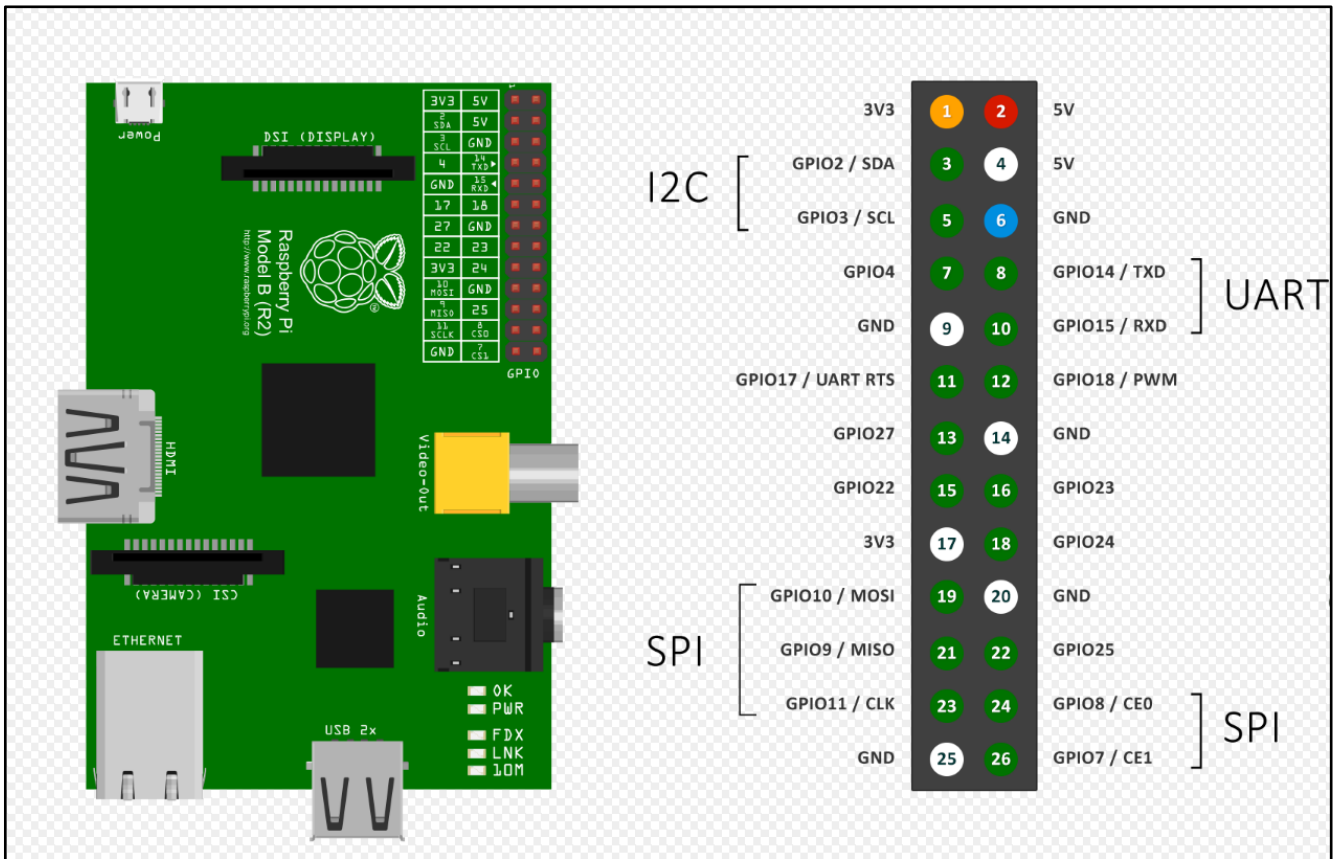


Figura 3-13 Distribución de pines GPIO [29].

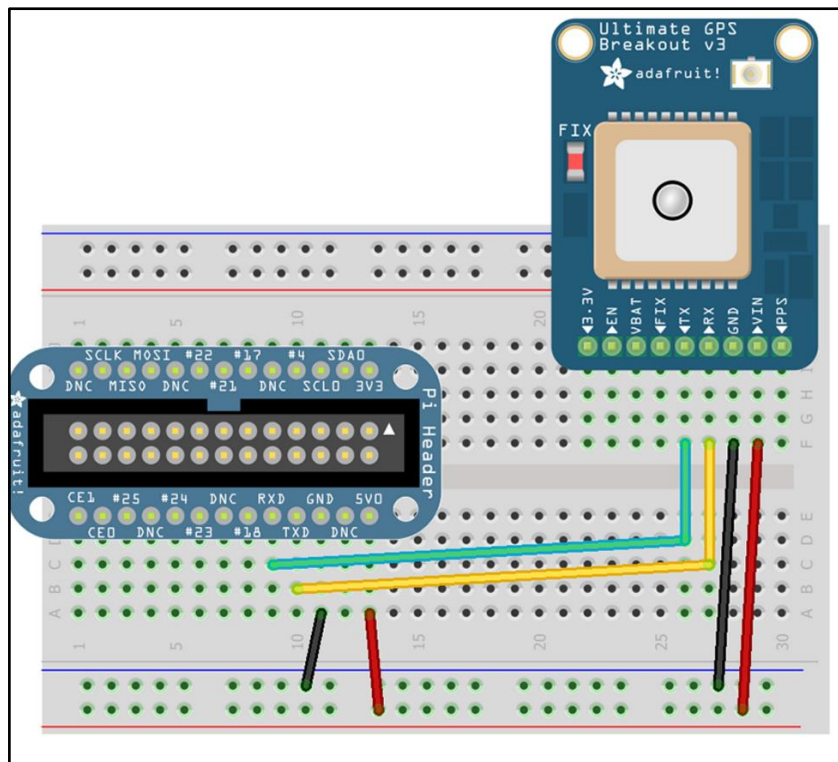


Figura 3-14 Distribución del cableado entre la Raspberry Pi y el GPS [33].

### 3.4 Envío de datos de posición

Una vez configurado el sistema para integrarse a la red MANET mediante el protocolo OLSR y una vez integrado el GPS, el siguiente paso es conseguir enviar los datos de las sentencias NMEA al terminal en el que se quiere realizar el seguimiento de los barcos. Como ya se ha mencionado, el programa elegido para la visualización de estos datos es OpenCPN, que permite configurar las conexiones con distintos equipos de navegación y además cuenta con una interfaz muy configurable.

Para el envío de los datos se ha optado por el empleo de Netcat, ya que otras opciones como es el caso de Gpsd no están disponibles para OpenWRT. Su uso y configuración se detallan en la sección 3.4.1.

#### 3.4.1 Configuración y uso de Netcat

Netcat es una herramienta de red que fue originalmente diseñada por Hobbit en 1995. Es una aplicación muy versátil que permite, entre otras cosas, recibir o enviar información a través de las conexiones de red usando bien el protocolo TCP o bien el protocolo UDP.

Para realizar estas conexiones emplea *sockets*. Netcat permite configurar los terminales como servidores o como clientes. En el caso de este proyecto OpenCPN se configura como cliente y recibe la información proporcionada por el GPS que actúa de servidor.

El primer paso será descargar las aplicaciones Netcat y Coreutils-stty. La segunda permite configurar la velocidad en los puertos serie. Para comenzar la descarga se introduce en el terminal el siguiente comando “*opkg install netcat coreutils-stty*”.

Una vez realizada la descarga del software necesario, se procede a configurar el receptor GPS de manera que los datos se puedan leer correctamente. Para ello hay que emplear el programa Coreutils para configurar la velocidad de los puertos UART. El comando empleado es el siguiente:

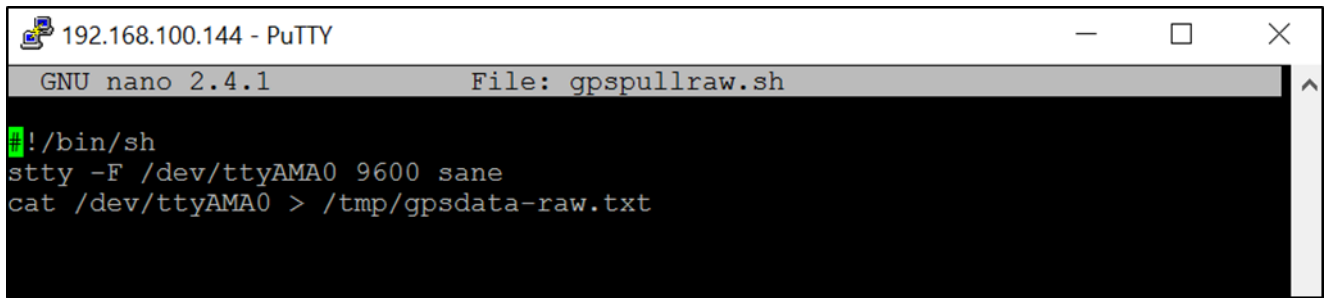
```
stty -F /dev/ttyAMA0 9600 sane
cat /dev/ttyAMA0
```

Este comando permite comprobar si la configuración de velocidad es correcta, ya que al introducir la segunda línea de comandos se muestran en pantalla las sentencias NMEA. Si la velocidad de transmisión de los puertos no está bien configurada se verán símbolos rellenos de color blanco. En cambio, si la configuración es adecuada, aunque el GPS no haya adquirido la posición se podrá ver que las sentencias se están leyendo correctamente por la ausencia de estos símbolos. Los campos de las sentencias de los que el GPS no tenga información disponible se mostrarán como comas sin espacios entre ellas, respetando siempre el formato de la sentencia.

Lo siguiente que hay que hacer es configurar el terminal servidor, en este caso la Raspberry Pi. Para ello es necesario generar 3 *scripts*, que permitirán que el envío de los datos se inicie automáticamente al iniciar el sistema.

El primero de ellos lee los datos del GPS y los transfiere a un archivo en el directorio “/tmp” (archivos temporales). Se le ha dado el nombre de “*gpspullraw.sh*” y su contenido es el mostrado en la Figura 3-15.

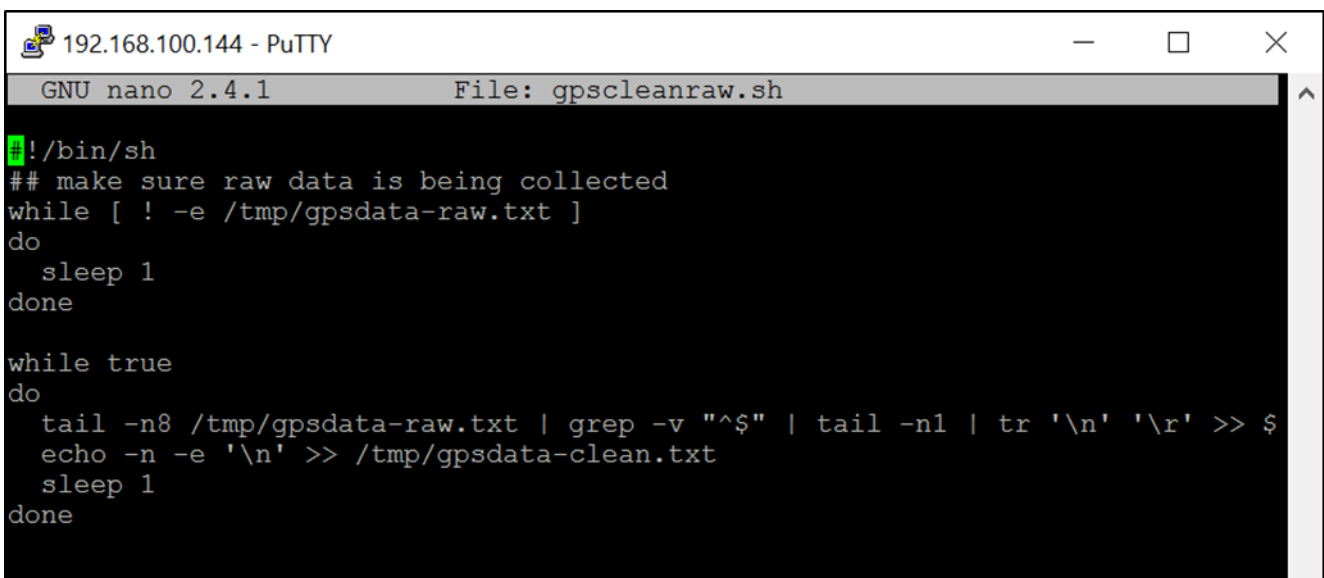




```
192.168.100.144 - PuTTY
GNU nano 2.4.1 File: gspullraw.sh
#!/bin/sh
stty -F /dev/ttyAMA0 9600 sane
cat /dev/ttyAMA0 > /tmp/gpsdata-raw.txt
```

Figura 3-15 Contenido del script gspullraw.sh.

El segundo *script* sirve para depurar los datos recibidos y configurar la frecuencia de actualización de los datos, con el fin de no perder ninguna sentencia y de no mandar ninguna sentencia repetida. Se ha nombrado este *script* como “*gpscleanrw.sh*” y su contenido es el mostrado en la Figura 3-16.



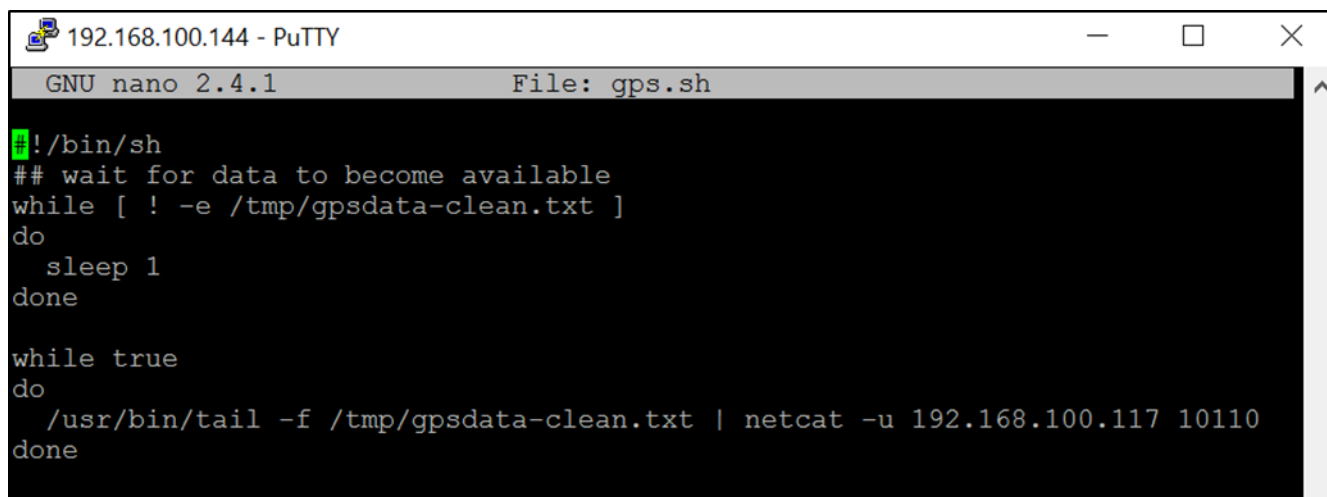
```
192.168.100.144 - PuTTY
GNU nano 2.4.1 File: gpscleanraw.sh
#!/bin/sh
## make sure raw data is being collected
while [ ! -e /tmp/gpsdata-raw.txt ]
do
  sleep 1
done

while true
do
  tail -n8 /tmp/gpsdata-raw.txt | grep -v "^$" | tail -n1 | tr '\n' '\r' >> $
  echo -n -e '\n' >> /tmp/gpsdata-clean.txt
  sleep 1
done
```

Figura 3-16 Contenido script gpscleanraw.sh.

El tercer *script* sirve para configurar el envío de datos, empleando netcat para seleccionar la dirección y puertos de destino. Al utilizar el prefijo “-u” antes de la dirección y puerto estamos indicando al programa que el *socket* empleará el protocolo UDP. En este *script* se modificará la dirección para que coincida con la del terminal que lleva instalado OpenCPN. El *script* se ha nombrado como “*gps.sh*” y su contenido es el que se muestra en la Figura 3-17.

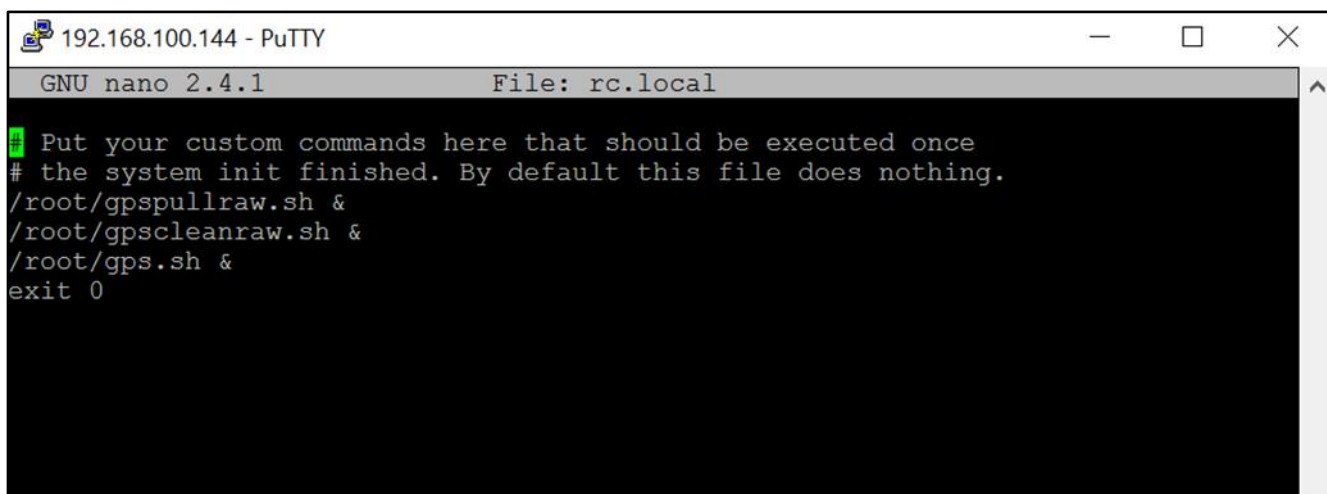




```
192.168.100.144 - PuTTY
GNU nano 2.4.1 File: gps.sh
#!/bin/sh
## wait for data to become available
while [ ! -e /tmp/gpsdata-clean.txt ]
do
    sleep 1
done
while true
do
    /usr/bin/tail -f /tmp/gpsdata-clean.txt | netcat -u 192.168.100.117 10110
done
```

Figura 3-17 Contenido del script `gps.sh`.

El último paso necesario es activar el inicio automático de estos *scripts* al encender la Raspberry, para ello hay que incluir el nombre de estos archivos en el archivo “*rc.local*”, contenido en el directorio “*/etc*”. Por lo tanto, este último archivo debería quedar como se muestra en la Figura 3-18.

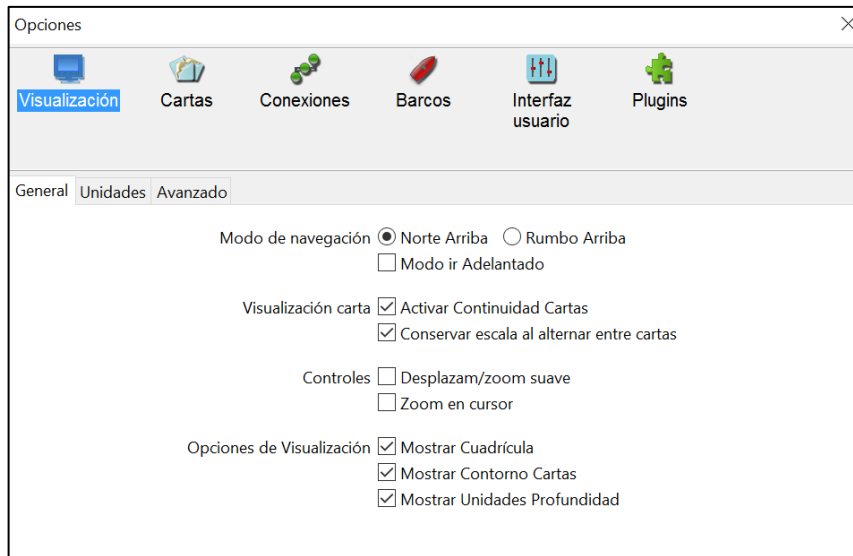


```
192.168.100.144 - PuTTY
GNU nano 2.4.1 File: rc.local
Put your custom commands here that should be executed once
# the system init finished. By default this file does nothing.
/root/gpspullraw.sh &
/root/gpsclicleanraw.sh &
/root/gps.sh &
exit 0
```

Figura 3-18 Contenido del archivo `rc.local`.

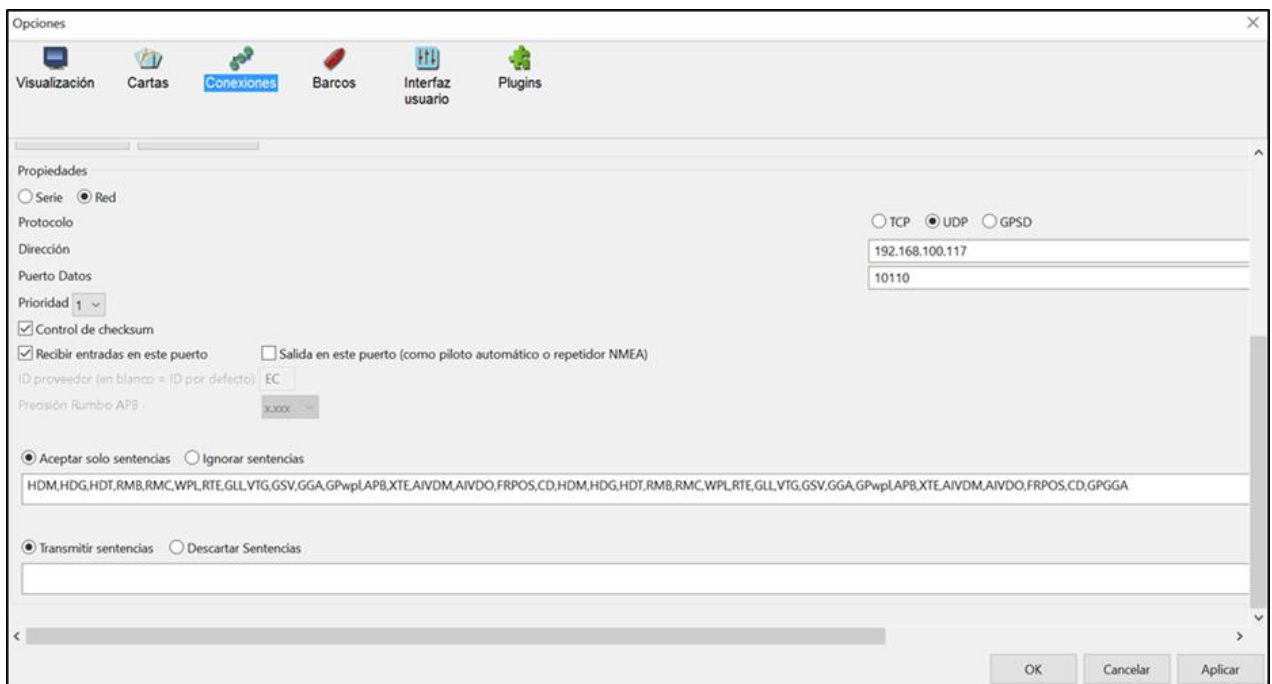
### 3.4.2 Configuración de *OpenCPN*

El último paso, una vez configurados todos los sistemas, es editar las conexiones en el programa *OpenCPN*. Dentro de la barra de herramientas hay un icono de opciones, al pulsarlo se abre una nueva ventana que permite configurar los distintos parámetros del programa, desde las conexiones hasta las cartas náuticas empleadas (Figura 3-19).



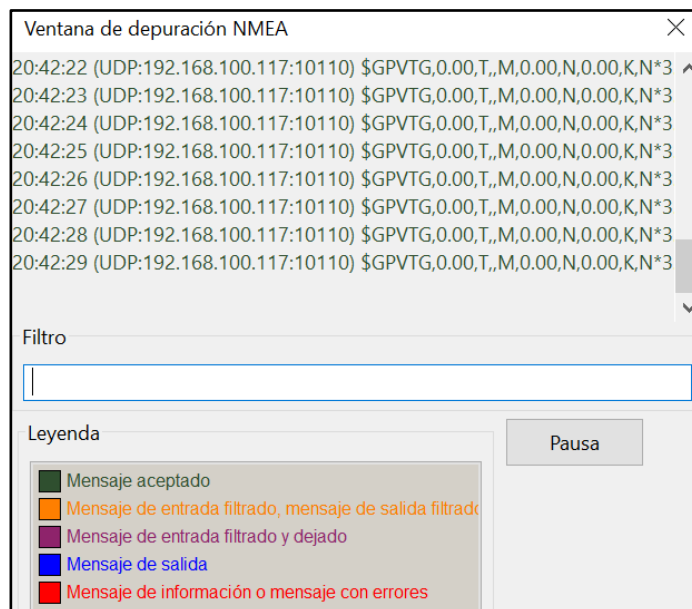
**Figura 3-19** Ventana de opciones OpenCPN.

El primer parámetro a seleccionar es el de propiedades de la conexión (Figura 3-20). En este caso, se selecciona red, ya que el GPS no se encuentra directamente conectado al terminal de visualización. Además, como se ha configurado el *socket* de Netcat para emplear el protocolo UDP, en OpenCPN también deberá elegirse este protocolo. En la dirección se escribe la dirección IP del terminal que está abriendo el programa y en el puerto se puede emplear el puerto por defecto que emplea OpenCPN para UDP. Para conocer la IP del equipo se puede escribir en el terminal el comando *ifconfig*, o *ipconfig* en el caso de Windows. Otra opción que se puede modificar es el tipo de sentencias NMEA que se quieren recibir o las que se quieren ignorar.



**Figura 3-20** Menú de configuración de conexiones del OpenCPN.

Para comprobar que el enlace se está estableciendo correctamente y que se están recibiendo las sentencias NMEA, aunque el GPS no haya adquirido la posición, se marca el cuadro que indica “Mostrar ventana depuración NMEA”. Al realizar esta acción, se mostrará en pantalla un cuadro como el de la Figura 3-21.



**Figura 3-21 Ventana de depuración NMEA.**

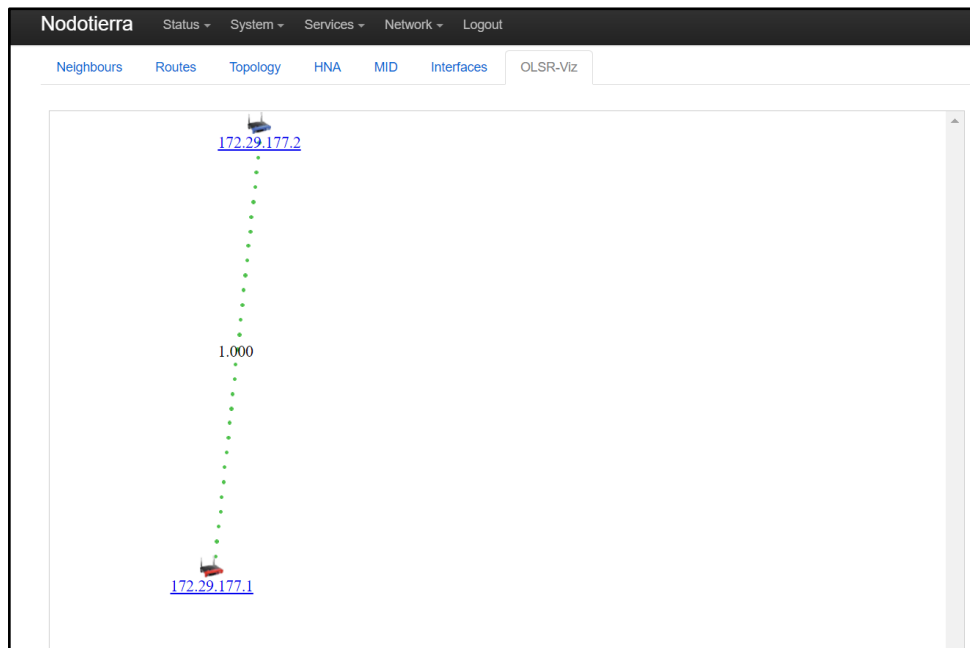


## **4 VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

### **4.1 Primera prueba**

Con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del sistema se han realizado distintas pruebas. La primera de ellas se realizó en la explanada de la Escuela Naval Militar, colocando el segmento terrestre en uno de los seminarios del Centro Universitario de la Defensa y portando una persona lo que sería el segmento embarcado. El objeto de esta prueba era principalmente comprobar que se establecía una correcta conexión entre los nodos y que el nodo terrestre encaminaba correctamente las sentencias NMEA al ordenador conectado a la red del encaminador.

Una vez encendidos los dispositivos, los nodos se detectan automáticamente como vecinos en el protocolo OLSR. Esto se puede ver en la interfaz LuCi de la NanoStation M2. En la pestaña “OLSR-Viz” se puede ver representada esquemáticamente la topología de la red. La captura de pantalla de la Figura 4-1 se corresponde con la primera prueba realizada.



**Figura 4-1 Topología de la red en la primera prueba.**

En esta primera comprobación se demuestra que el sistema es capaz de encaminar los datos del GPS correctamente a través de la red MANET. Las sentencias NMEA se reciben de manera correcta en el ordenador y OpenCPN muestra los datos en pantalla, como se observa en la Figura 4-2.



**Figura 4-2 OpenCPN en la primera prueba.**

El alcance máximo logrado en esta primera prueba, en la que únicamente había 2 nodos y se empleaba el adaptador inalámbrico “TL-WN823N” de la marca TP-LINK, es de 60m. En la Figura 4-3 se muestra una vista aérea de la zona de pruebas, en la que se marca la ubicación de la NanoStation M2 del segmento terrestre y se indica en rojo el punto más alejado en el que seguía habiendo conexión.



Figura 4-3 Vista aérea de la zona de la primera prueba [28].

## 4.2 Segunda prueba

La segunda prueba tiene como objetivo comprobar el funcionamiento del sistema cuando hay más de 2 nodos en la red. Para ello se configuró otra Raspberry Pi, instalando OpenWrt como sistema operativo e instalando los paquetes de olsrd para integrar el dispositivo en la red MANET.

Antes de realizar la prueba se comprueba que todos los nodos se detectan, como se ve en la Figura 4-4 y en la Figura 4-5.

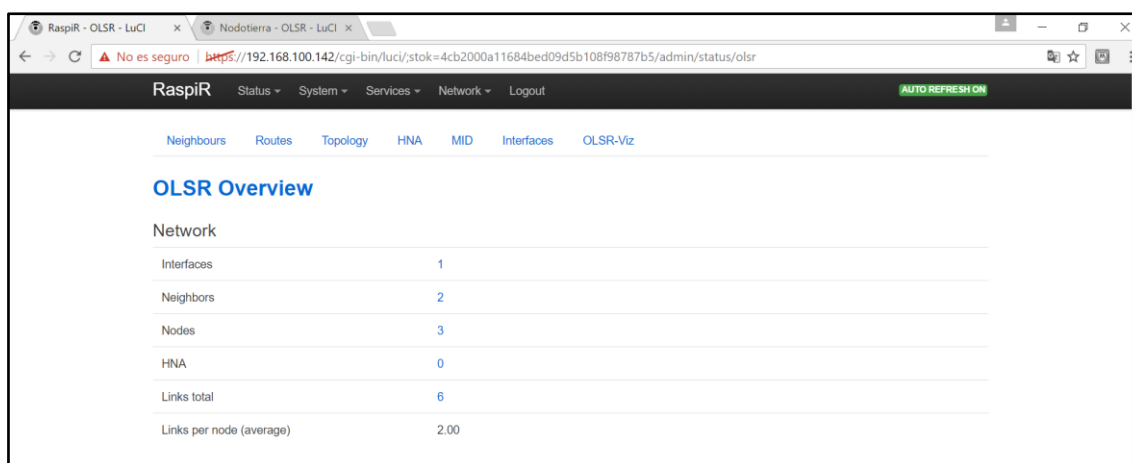
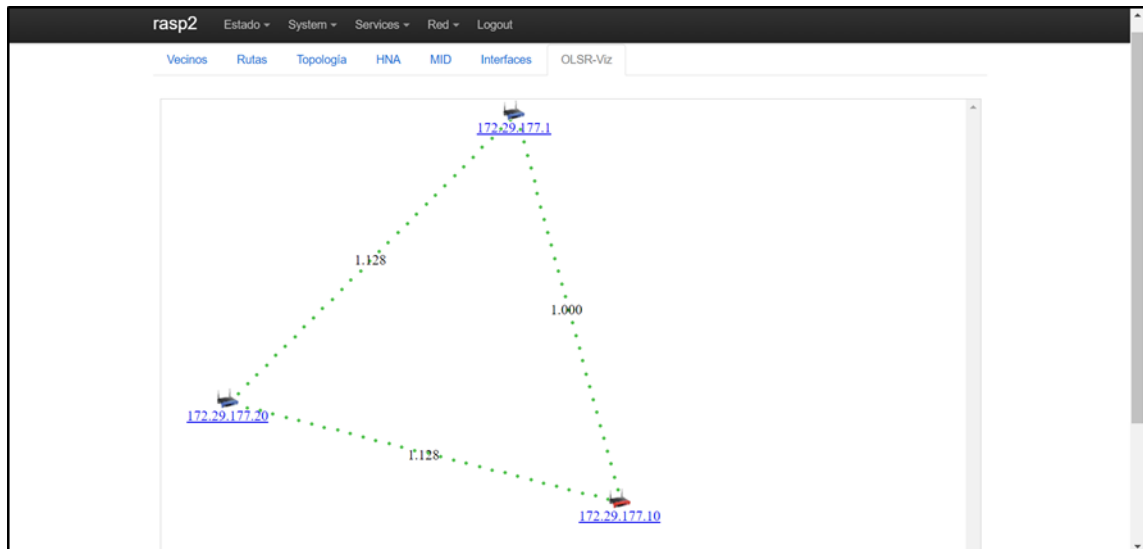


Figura 4-4 Detección de los nodos en la segunda prueba.





**Figura 4-5 Topología antes de la segunda prueba.**

Para llevar a cabo esta prueba, se instala el segmento terrestre en un estudio de la primera planta norte del cuartel “Almirante Francisco Moreno” de la Escuela Naval Militar. La antena se coloca en la escalera de incendios, sujeta mediante bridas a la barandilla (Figura 4-6) y el nodo que hará de conexión intermedia se coloca sobre un muro de la pista militar, donde se realizarán las pruebas.



**Figura 4-6 Ubicación de la antena en la segunda prueba.**

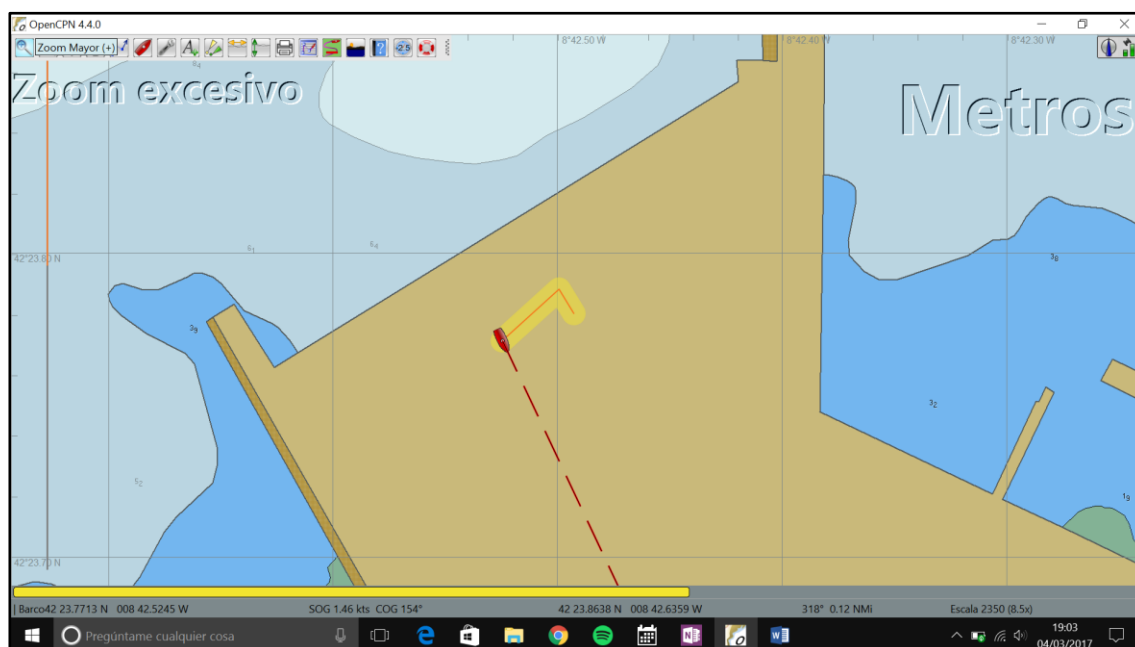
Con esta configuración se consigue ver el funcionamiento del encaminamiento de mensajes. Cuando el nodo con el localizador se aleja lo suficiente como para estar fuera de la distancia de alcance directo con la antena en tierra, cambia la topología de la red, de tal manera que el nuevo nodo hace de enlace intermedio. Esta nueva topología se ve en la Figura 4-7.





**Figura 4-7 Topología de la red durante la segunda prueba.**

Gracias a este enlace intermedio se consigue prácticamente duplicar el alcance de la transmisión. Llegando a alcanzar unos 100m como se puede ver en la Figura 4-8 y en la Figura 4-9, en la que se marca en rojo el punto más alejado en el que seguía habiendo conexión. Sin embargo, se aprecia que cuando se pierde la conexión, el seguimiento de la derrota no es continuo. Este problema se podría solucionar mediante aplicaciones como IBR-DTN que hagan la red tolerante a retardos. De esa manera, aunque la embarcación se alejase demasiado y perdiese la conexión, al volver a la zona de cobertura se enviarían los mensajes perdidos y se podría ver la derrota que ha seguido durante el periodo sin conexión.



**Figura 4-8 OpenCPN durante la segunda prueba.**



**Figura 4-9** Vista aérea de la zona de la segunda prueba [28].

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones

Llegados al final del proyecto, es necesario realizar un estudio de los objetivos logrados. Se puede decir que los objetivos básicos descritos en el apartado 1.2 se han logrado. De esta manera los avances conseguidos de cara a la implementación del sistema de localización en este trabajo son:

- Integrar el receptor GPS con la Raspberry Pi mediante UART y configurar este sistema para que se pueda conectar a la red MANET de las lanchas de instrucción descrita en [1].
- Configurar el segmento terrestre de tal forma que la información enviada a través de la red MANET pueda ser visualizada en un ordenador conectado a una red inalámbrica convencional.
- Demostrar que es posible el envío de los datos del GPS a través de esta red y su visualización mediante un programa.
- Conseguir un interfaz básico de configuración del sistema, que sirva para ver de forma fácil el nombre de la embarcación que lleva el localizador. Esta funcionalidad se realiza mediante el interfaz de configuración web LuCi.

Este trabajo se ha visto limitado por el alcance de los puntos de acceso TP-LINK “TL-WN823N”, que es de unos 50-60m. Sin embargo, esta limitación es fácilmente superable empleando otras antenas que podrían ser instaladas en las lanchas de instrucción o en otras embarcaciones. Además, el programa empleado para la visualización de los datos del GPS (OpenCPN), no permite visualizar más de un barco a la vez con este sistema. Esto se debe a que las sentencias NMEA enviadas por el GPS se interpretan como datos del buque propio y no de un blanco, como sucede con las sentencias TLL (*Target Latitude and Longitude*).

Como conclusión, se ha logrado desarrollar las bases para la implementación de un sistema de localización económico y versátil mediante el empleo de una red móvil Ad-hoc. Las principales ventajas de este sistema serán la facilidad y rapidez del despliegue de la red, que hace que se pueda instalar en distintos lugares dependiendo de donde se quiera realizar el seguimiento de las embarcaciones y el empleo de un localizador portátil configurable, el cuál hace que el número de localizadores necesarios se reduzca únicamente a las embarcaciones que se vayan a emplear a la vez.

## 5.2 Líneas futuras

Tras los avances conseguidos en este trabajo de fin de grado para el establecimiento del sistema de localización para el control de las embarcaciones de la Escuela Naval Militar, se abren varias líneas de trabajo e investigación para la puesta en marcha del sistema y para futuras mejoras. Estas líneas de trabajo son:

- Desarrollo de una aplicación que permita la visualización de varias embarcaciones a la vez en un mapa o carta náutica electrónica, para poder realizar un control en tiempo real de todos los barcos implicados en las actividades.
- Estudio de la viabilidad de crear una infraestructura fija del segmento terrestre y búsqueda de la ubicación óptima del mismo, así como de la necesidad o no de incluir algún nodo terrestre para conseguir el alcance deseado.
- Diseño y producción de un recipiente estanco en el que pueda ir el segmento embarcado, con el objeto de hacer posible su funcionamiento en el ambiente marítimo. Esta caja debe contar con una salida para la antena GPS y entradas para permitir la carga de la batería del sistema y para conectarlo a la antena transmisora.
- Implementación de mejoras en la conexión, como hacer la red tolerante a retardos mediante aplicaciones como IBR-DTN. De esta forma, aunque se pierda la conexión durante un tiempo, se podrá ver los movimientos realizados por la embarcación durante este tiempo al recuperar la conexión.
- Diseño de un sistema de localización que emplee tecnología 3G en lugar de conectarse a la red MANET.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Marín López, *Despliegue de una red MANET entre lanchas de instrucción*, Centro Universitario de la Defensa, 2015.
- [2] G. L. Porto-Andión, *Despliegue de una red móvil Ad-hoc tolerante a fallos en entornos marinos.*, Centro Universitario de la Defensa, 2016.
- [3] J. P. Sanfuentes, «Historia del radar,» [En línea]. Available: [http://www.meteovallirana.es/mediapool/96/966160/data/historia\\_del\\_radar.parker.pdf](http://www.meteovallirana.es/mediapool/96/966160/data/historia_del_radar.parker.pdf).
- [4] G. R. Curry, Radar Essentials, Scitech.
- [5] María Paz Holanda Blas y Juan Carlos Bermejo Ortega, «GPS y GLONASS,» [En línea]. Available: <http://www.webs.ulpgc.es/astrogeo/LIBRO.pdf>.
- [6] Organización Marítima Internacional, «Automatic Identification System,» [En línea]. Available: <http://www.imo.org/fr/OurWork/Safety/Navigation/Pages/AIS.aspx>.
- [7] Organización Marítima Internacional, «SOLAS Chapter V- Regulation 19,» [En línea]. Available: <https://mcanet.mcga.gov.uk/public/c4/solasv/regulations/regulation19.htm>.
- [8] NMEA, «NMEA collision avoidance through AIS,» [En línea]. Available: <https://www.nmea.org/Assets/nmea%20collision%20avoidance%20through%20ais.pdf>.
- [9] J. Carson-Jackson, *Satellite AIS- developing technology or existing capability?*, University of Wollongong Australia, 2012.
- [10] «ORBCOMM,» [En línea]. Available: <https://www.orbcomm.com/>.
- [11] «ExactEarth,» [En línea]. Available: <http://www.exactearth.com>.
- [12] «GPS.gov,» [En línea]. Available: <http://www.gps.gov/systems/gps/>.
- [13] Centro Universitario de la Defensa, Apuntes de la asignatura "Sistemas de Radiocomunicaciones", 2015.
- [14] OpenCPN, «Developer Manual (OpenCPN Books),» [En línea]. Available: [https://opencpn.org/wiki/dokuwiki/doku.php?id=opencpn:developer\\_manual](https://opencpn.org/wiki/dokuwiki/doku.php?id=opencpn:developer_manual).
- [15] C. C. Álvarez, «Cartografía Náutica,» [En línea].
- [16] The National Marine Electronics Association, [En línea]. Available: [https://www.nmea.org/content/about\\_the\\_nmea/missionvisval.asp](https://www.nmea.org/content/about_the_nmea/missionvisval.asp).
- [17] «SiRFstarlleLP Evaluation Kit User's Guide.,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual1.pdf>.
- [18] «NMEA data,» [En línea]. Available: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>.
- [19] «NMEA format,» [En línea]. Available: [http://navspark.mybigcommerce.com/content/NMEA\\_Format\\_v0.1.pdf](http://navspark.mybigcommerce.com/content/NMEA_Format_v0.1.pdf).
- [20] J. Ugas Chalmeta, *Estudio y análisis de prestaciones de redes móviles Ad Hoc mediante simulaciones NS-2 para validar modelos analíticos.*, Universidad Politécnica de Cataluña.

- [21] T. Clausen & P. Jacquet, «RFC 3626 Optimized Link State Routing Protocol,» 2003. [En línea]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc3626>. [Último acceso: 2017].
- [22] P. Jacquet, P. Mühlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum, L. Viennot, «OLSR,» [En línea]. Available: <https://www.cs.jhu.edu/~dholmer/600.647/papers/OLSR.pdf>.
- [23] A. Tonnesen, «OLSR,» [En línea]. Available: <http://www.olsr.org/docs/wos3-olsr.pdf>.
- [24] Raspberry, «Raspberry Pi 2 Model B,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>.
- [25] Adafruit, «Overview Adafruit Ultimate GPS Logger,» [En línea]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-ultimate-gps-logger-shield/overview>.
- [26] «Ubiquiti NanoStation M2,» [En línea]. Available: <https://www.wifiking.com/en/ubiquiti-networks/2-4-ghz/ubiquiti-nanostation-m2-2-4ghz-11dbi-mimo-nsm2/a-78/>.
- [27] «OpenWrt,» [En línea]. Available: <http://downloads.openwrt.org>.
- [28] Google, «Google Maps,» [En línea]. Available: <https://www.google.es/maps/>.
- [29] «Raspberry Pi pinout,» [En línea]. Available: <https://howto8165.wordpress.com/2014/08/15/raspberry-pi-pinout/>.
- [30] «ExactEarth official Twitter account,» [En línea]. Available: <https://twitter.com/exactearth/status/761285342263648256>.
- [31] «ORBCOMM Blog,» [En línea]. Available: <https://blog.orbcomm.com/page/18/>.
- [32] «Marine Traffic,» [En línea]. Available: <https://www.marinetraffic.com/es/ais/home>.
- [33] Adafruit, «Adafruit Ultimate GPS,» [En línea]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-ultimate-gps-on-the-raspberry-pi/using-uart-instead-of-usb>.
- [34] «Preguntas sobre radar,» [En línea]. Available: <http://surcandoloscielos.es/blog/frequently-asked-questions-ix-el-radar-1parte/>.