



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SENSORES PARA LA ASISTENCIA A LA NAVEGACIÓN DE EMBARCACIONES DE ALTA COMPETICIÓN

Juan Carlos Serrano Pallicer

Tutora: Clara Pérez Fuster

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2019-20

Valencia, 29 de junio de 2020



Resumen

El proyecto que se presenta a continuación tratará del desarrollo y diseño de sistemas electrónicos y de comunicaciones en un barco de equipo de regatas de alta competición, siendo el mismo un MINI MAXI 72.

Dicho tipo de embarcación participa tanto en competiciones “inshore” (regatas de corta duración en la que se requiere un gran procesamiento de datos en tiempo real), como en regatas “offshore” (regatas de varios días de duración en el que primaran las comunicaciones ante el procesamiento de datos). Basándonos en ambos modos de navegación se requerirá de un sistema electrónico completo que incluya componentes tales como:

- Sistemas de posicionamiento GPS, Glonass, Galileo ...
- Sensores lineales de variación de voltaje.
- Sistema de red de comunicación a bordo (red interna, conexión wi-fi...)
- Comunicaciones vía satélite.
- Red interna de muestreo de datos (red CAN).
- Procesador de alta capacidad.
- Sistema de posicionamiento AIS.
- Comunicación VHF.
- Etc...

En el siguiente documento se desarrollarán cada uno de los aspectos de los sistemas anteriormente mencionados, acompañados de sus esquemáticos y figuras que facilitarán la comprensión de dicho equipo.

Resum

El projecte que es presenta a continuació tractarà de el desenvolupament i disseny de sistemes electrònics i de comunicacions en una embarcació d'equip de regates d'alta competició, sent el mateix un MINI MAXI 72.

Aquest tipus d'embarcació participa tant en competicions "inshore" (regates de curta durada en la qual es requereix un gran processament de dades en temps real), com en regates "offshore" (regates de diversos dies de durada en el qual primaran les comunicacions davant el processat de dades). Basant-nos en els dos modes de navegació es requerirà d'un sistema electrònic complet que inclogui components com ara:

- Sistemes de posicionament GPS, Glonass, Galileu ...
- Sensors lineals de variació de voltatge.
- Sistema de xarxa de comunicació a bord (xarxa interna, connexió sense fil ...)
- Comunicacions per satèl·lit.
- Xarxa interna de mostreig de dades (xarxa CAN).
- Processador d'alta capacitat.
- Sistema de posicionament AIS.
- Comunicació VHF.
- Etc ...

En el següent document es desenvoluparan cadascun dels aspectes dels sistemes anteriorment esmentats, acompanyats dels seus esquemàtics i figures que facilitaran la comprensió d'aquest equip.



Summary

The project presented below will deal with the development and design of electronic and communication systems on a highly competitive regatta team boat, the same being a MINI MAXI 72.

This type of boat participates both in "inshore" competitions (short races in which a large amount of real-time data processing is required), and in "offshore" races (races of several days duration in which communications will prevail before the data processing). Based on both navigation modes, a complete electronic system that includes components such as:

- GPS positioning systems, Glonass, Galileo ...
- Linear sensors of voltage variation.
- On-board communication network system (internal network, wi-fi connection ...)
- Communications via satellite.
- Internal data sampling network (CAN network).
- High capacity processor.
- AIS positioning system.
- VHF communication.
- Etc...

In the following document each of the aspects of the aforementioned systems will be developed, accompanied by their schematics and figures that will facilitate the understanding of said equipment.



Índice

Capítulo 1.	Objetivo del proyecto	2
Capítulo 2.	Memoria del proyecto.....	3
2.1	Introducción.....	3
2.2	Captación de datos.....	4
2.2.1	Procesador.....	4
2.2.2	Veleta / MHU (Mast Head Unit).....	6
2.2.3	Compás principal y secundario.....	8
2.2.4	Sensores de medida con comportamiento lineal.....	11
2.2.5	GPS principal y secundario.....	13
2.2.6	Sistema de comunicación vía satélite.....	17
2.3	Red NMEA2000.....	19
2.3.1	Conceptos básicos NMEA2000.....	19
2.3.2	Normativa y condiciones NMEA 2000.....	20
2.3.3	Red NMEA 2000 Bellamente Racing:.....	26
2.4	Comunicaciones y Redes.....	33
2.4.1	Introducción.....	33
2.4.2	Red Local Bellamente Racing:.....	33
2.4.3	Comunicaciones con embarcación supletoria.....	37
Capítulo 3.	Conclusiones.....	40
Capítulo 4.	Presupuesto.....	41
Capítulo 5.	Bibliografía:.....	43
Capítulo 6.	Anexos.....	45
6.1	Planos.....	45

Capítulo 1. Objetivo del proyecto

La clase MINI MAXI 72 es una de las clases de embarcaciones de regata con más prestigio a nivel internacional, en ella compiten los mejores regatistas del mundo, y, al igual que en Fórmula 1 en el sector del motor, en estas embarcaciones existen sensores que ayudarán al “performance” del equipo.

Este “performance” consistirá en introducción y recogida de datos, que se realizará en tres fases: *previa a la regata* (descarga de gribbs meteorológicos, revisión de sistemas...), *durante la regata* (lectura de datos de sensores varios como jarcia, timón...) y *post-regata* (descarga de “log” de datos para reuniones de performance con regatistas, diseñadores de velas y entrenador).



Fig. 1. Embarcaciones MAXI72 regateando.

Este proyecto se centrará en la embarcación MAXI72 llamada “Bellamente Racing”.

El desarrollo del proyecto requerirá la recopilación de toda la información sobre los sistemas de navegación de los que inicialmente dispone el barco; tales como meteorología y sistemas electrónicos. Esta información servirá para poder confeccionar el listado de sensores que se han de añadir y la toma de decisiones de las características que deben tener dichos sensores, para que su acoplamiento a los sistemas básicos, de los que consta el barco sean compatibles.

En este proyecto en concreto se requerirán los siguientes componentes:

- Sistema de procesador “FARO Advanced System”, basado en la tecnología Beckhoff.
- Sensores: De presión y lineales para sistema hidráulico, de profundidad, de velocidad, de lectura y medida de viento, células de carga para jarcia, lineales de lectura con potenciómetro para cabullería, y ángulo de timón.
- Cámaras para tratado de imagen de velas en tiempo real y capturado de imágenes de trimado de las velas.
- Comunicaciones: VHF, AIS, teléfono satelital con posibilidad de conexión a internet.
- GPS principal y secundario.
- Compás principal y secundario.
- Red wi-fi principal a 2.4GHz y secundaria a 5Ghz. Red wi-fi para telemetría con embarcación supletoria.
- Red CAN NMEA2000 para muestreo y captación de datos, incluyendo siete pantallas en el mástil y seis en cubierta.
- Dos ordenadores, uno dedicado al software de navegación y el otro dedicado al software de tratado de imagen de las cámaras.
- Tableta en la embarcación para realizar conexión remota al ordenador de navegación, y otra en la embarcación supletoria para visualizar datos en tiempo real.

Capítulo 2. Memoria del proyecto

2.1 Introducción.

El proyecto se dividirá en tres partes, tal como se muestra en la figura 2. Las partes serán las siguientes:

- Captación de datos.
- Red NMEA 2000.
- Comunicaciones y redes.

En la memoria del proyecto se abordará cada parte por separado, en cada una de ellas se presentará el esquemático del circuito, su descripción; así como el desarrollo y funcionamiento de sus componentes.

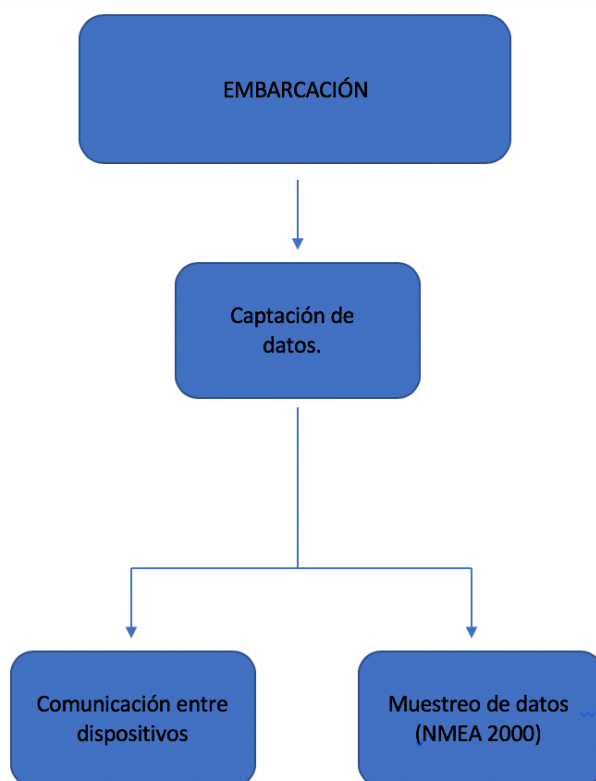


Fig 2. Diagrama de bloques de la memoria de proyecto.

El punto de partida será los requerimientos del cliente propietario de la embarcación; con esta información se pueden empezar las siguientes fases:

- 1) *Captación de datos*, esta fase consistirá en diseñar y decidir el sistema que sea más idóneo para la captación de los datos que se desean analizar; también en elegir el procesador que va a gestionar todos los datos captados.
- 2) *Comunicación entre dispositivos*, una vez los datos captados y procesados, se pasará a conectar y comunicar todos esos dispositivos en una red local, generando sus direcciones IP, máscaras subred, etc

- 3) *Muestreo de datos*, esta fase se desarrollará en paralelo con la anterior, se muestrearán los datos a la tripulación mediante el protocolo de comunicaciones marítimo NMEA 2000 (Muestreo de datos (NMEA 2000)).

2.2 Captación de datos.

En este apartado se ha realizado un estudio de los grandes sensores en los que se basará el diseño de la embarcación. Los principales pilares en los que se basa el cálculo de la matemática de cualquier embarcación de regatas de alto nivel se describen a continuación.

Desgraciadamente para el sector naval no hay una gran innovación en sistemas “performance”, grandes casas como “B&G”, “ATT+”, “Raymarine” y un largo etcétera, han creado hasta la fecha procesadores encargados de gestionar la información de los sensores de una embarcación de manera sencilla e intuitiva para el usuario; este proyecto es más ambicioso y se pretende diseñar un sistema personalizado en el que se hará uso de un procesador industrial de la marca Beckhoff, al que se añadirán módulos de inserción de carril DIN simulando una PLC, con la finalidad de gestionar toda la información de arranque de sistemas y captación de datos de los sensores.

Es por ello que el primer punto a tratar será el procesador y los módulos de inserción, dado que este conjunto será el “corazón” de nuestra embarcación.

2.2.1 Procesador.

La empresa “Faro Advanced Systems” [1], nacida a raíz de la regata más importante del mundo, la Copa América, se ha especializado en desarrollo de un software de gestión de PLC basado en la marca Beckhoff y adaptado al sector naval de alta competición. Dicha empresa será la encargada de desarrollar el software requerido por el procesador seleccionado.

En este caso se ha optado por el ordenador industrial ultra compacto de Beckhoff modelo C6015-0010.



Fig. 3. C6015-0010 Ultra Compact Industrial PC.

En las embarcaciones de regatas de alta competición se tiene en cuenta hasta el último gramo de peso, siendo esta una de las principales premisas, este ha sido el criterio para tomar la decisión de usar este ordenador. El C6015-0010 pesa aproximadamente unos 400 gramos y no mide más de 96mm en su zona más extensa. Además, este ordenador soporta temperaturas de hasta 55°C durante su uso y es resistente a golpes y vibraciones (muy importante en una embarcación). Todas



sus características se pueden ver en su manual “Installation and Operating instructions for C6015-0010 Ultra compact Industrial PC” [2].

Este ordenador utiliza “Microsoft Windows embebido 7”, el cual permitirá tener instalado TwinCat2, programa en el que está basado el software de Faro Advanced Systems para gestionar los diferentes módulos que se irán añadiendo a nuestro sistema. El conjunto del C6015-0010 y los módulos de Beckhoff conformarán la PLC, que se actuará como el procesador del sistema.

El procesador se ha separado en dos grandes nodos de módulos Beckhoff, que, junto al ordenador se comunicarán entre sí por ethernet. A continuación, se detalla el listado de los módulos utilizados en cada nodo con una breve descripción de su aplicación:

NODO 1:

- EK1100 (*EtherCAT Coupler*): Contando con una entrada y una salida *ethercat* este módulo es el encargado de gestionar la comunicación entre nodos y PC.
- EL1088 (*Digital Inputs*): Gestión de entradas digitales provenientes del sensor de dirección y giro del pedestal principal.
- EL 2828 (8 x *Digital Outputs* 24VDC, 2A): Salidas digitales encargadas de dar alimentación a 24 V a sistemas tales como, el ordenador de navegación, el compás, el GPS, luces de navegación, *routers* de comunicaciones ...
- EL 2809 (16 x *Digital Outputs* a 0.5A): Salidas digitales que requieren de una corriente menor, tales como, activación del relé para el sistema de bombas de achique o activación del relé para el sistema de bombeo del circuito hidráulico.
- EL 3255 (5 x *channel inputs*): Este módulo proporciona 5 canales analógicos compuesto cada uno de ellos de 3 entradas/salidas (1x Salida de alimentación 10V, 1x GND, 1x Entrada retorno de señal). Esto permitirá añadir sensores lineales como potenciómetros que nos otorgarán una variación de voltaje, pudiéndolos usar para, por ejemplo, en sensor de ángulo del timón.

NODO 2:

- EK1100 (*EtherCAT Coupler*): Comunicación con el nodo 1 mediante la entrada *ethercat*.
- EL1512 (2 x *channel counter* 24 V, 1kHz, 16 bit) / FRSGN / FRPLS: Los sensores de velocidad e intensidad de viento funcionan como señales pulsares, esta combinación de módulos se encarga de alimentar dichos sensores y realizar una cuenta de los pulsos provenientes de ambos sensores.
- EL3164 (4 x *channel analog input* 0-10V): Cuatro entradas de lectura analógicas de 0 a 10 V referenciadas a tierra, se le da uso a este módulo para analizar las tres fases de la dirección del viento, que posteriormente se tratarán en la matemática del software de FARO para obtener variables tales como la dirección del viento (TWD), ángulo aparente de viento (AWA), ángulo de viento real (TWA) y otros.
- EL1889 (16 x *Digital Input Neg Switching*): Dieciséis entradas digitales activadas por negativo que se han usado para la activación de funciones de una placa *wireless* encargada de activar funciones hidráulicas a bordo, tales como, pistón de bombeo del “Jib Tack”, pistón de bombeo del “Jib Up/Down”, y sus correspondientes vaciados.
- EL 2828 (8 x *Digital Outputs* 24VDC, 2A): Salidas digitales encargadas de alimentar equipos como AIS, VHF, bomba de aire de hinchado para sellar la escotilla de proa.
- EL 3255 (5 x *channel inputs*): Utilizado para introducir señales que vienen de sensores lineales potenciómetros que nos darán valores para posición y futura correspondencia en carga del pistón hidráulico de la trapa, posición del carro del Génova de estribor, posición del carro de Génova de babor y deflectores.

- 2 x EL3068 (8 x *Analog Input* 0-10V): Todas las funciones que requieren de una gran fuerza en una embarcación de 72 pies se realizan mediante pistones hidráulicos, es importante conocer que presión tienen en cada momento cada uno de estos pistones, es por eso que se usan sensores de presión en línea con las tuberías de aceite en cada una de las funciones. La salida de estos sensores se recoge analógicamente en estos módulos como una variación de voltaje.
- 2 x EL6021 (1 x RS422): Estos módulos especializados constan con una comunicación puerto serie RS422. En este caso se han usado para el sensor sónico (profundidad y velocidad mediante pulsos sónicos) y para la comunicación con los SERVOS (sistema encargado de gestionar electroválvulas que permitirán el flujo hidráulico de aceite a los pistones de cada función).
- 3 x EL3351 (*Channel resistor bridge*): Este módulo es usado exclusivamente porque cuenta interiormente con un puente de resistencias. Este nos permitirá alimentar sensores y tratar con señales de entrada y de referencia. Se han añadido tres de ellos para captar los datos de sensores de carga que funcionan con galgas extensiométricas para medir las toneladas que soporta la jarcia del barco, tales como el *stay* de proa, los verticales o los diagonales encargados de mantener en pie el mástil.

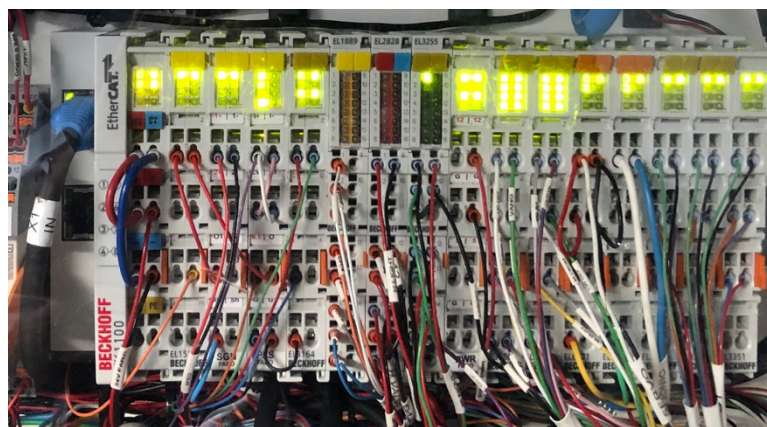


Fig. 4. Ejemplo NODO 2 Bellamente Racing.

En el plano número 1 denominado “Electronics” podemos ver como se han comunicado todos los sensores con dichos módulos. En dicho plano aparecen los principales sensores encargados de gestionar la matemática de nuestro software de navegación.

El software de navegación se implementa para el control de los cuatro sensores principales: la corredera o sensor de velocidad, la veleta o sensor de viento, el compás o brújula, y el GPS (este último lo trataremos en profundidad en el punto 2.2.5).

A continuación, se detallan en profundidad como funcionan estos sensores, aportando figuras y datos que reforzarán la comprensión de los cálculos matemáticos que se realizarán con posterioridad.

2.2.2 *Veleta / MHU (Mast Head Unit)*

La veleta es uno de los sensores más importantes dentro de una embarcación de regatas, esta nos aportará muchos datos tales como dirección de viento o intensidad de viento. Estos datos pueden ser tratados para futuros cálculos más complejos como ángulo de viento medido (MWA: *measured wind angle*), ángulo de viento real (TWA: *true wind angle*), ángulo de viento aparente (AWA: *aparent wind angle*), y un largo etcétera.

Conocer las condiciones de velocidad del viento ayudarán a los regatistas a decidir sobre que velas se han de utilizar a bordo; así como saber en cada momento el ángulo de viento, ayudará a tomar decisiones tácticas durante la regata. Todas las veletas usadas en la actualidad están formadas por una serie de piezas que proporcionarán tanto ángulo como intensidad de viento.

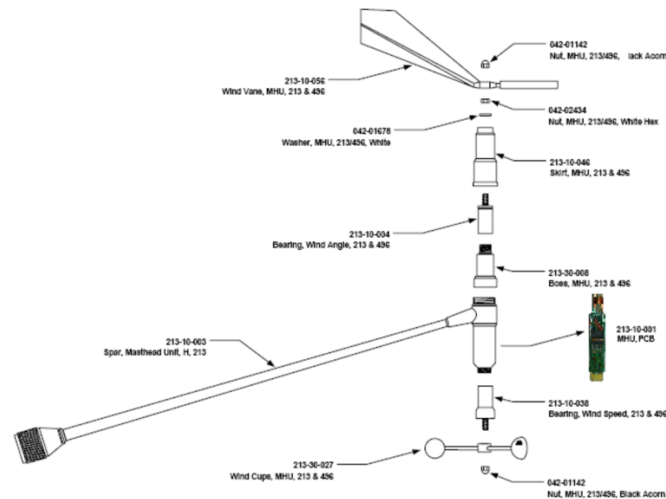


Fig. 5. MHU Parts.

Todas las piezas son mecánicas, salvo el transductor embebido en la pieza denominada MHU PCB. Este componente es el circuito electrónico que transformará los movimientos de la cazoleta superior e inferior de la veleta, en datos que nos permitan obtener ángulo y velocidad. Dicha PCB cuenta con una serie de imanes en la parte inferior que proporcionará la intensidad de viento y un bobinado en la parte superior que informará de las tres fases del viento. La figura 6 muestra la PCB real, junto con el tipo de conexionado y alimentación.

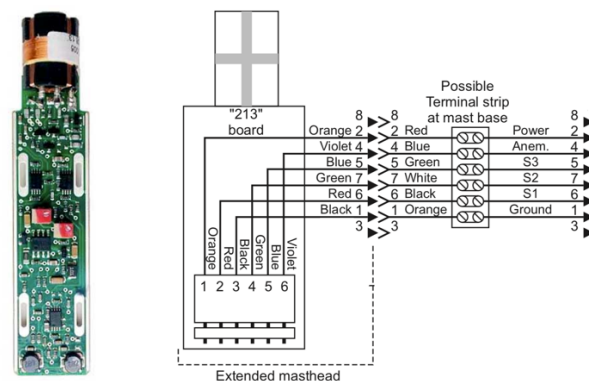


Fig. 6. MHU PCB.

En la figura 6 se puede observar que la veleta contará con un conector de ficha con seis pines que permitirá alimentar la PCB por los pines 1 y 6; en el pin 5 se recogerán los pulsos del anemómetro para tratarlos con el módulo FRPLS explicado con anterioridad, y que facilitará la información de la intensidad del viento. Por otra parte, los pines 2, 3 y 4, serán la respuesta a la dirección del viento, convertida en tensión cuya variación de voltaje irá correlada con las fases del viento.

En la figura 7 se puede observar dicha relación entre la variación de voltaje y ángulo de viento en función de la posición de veleta.

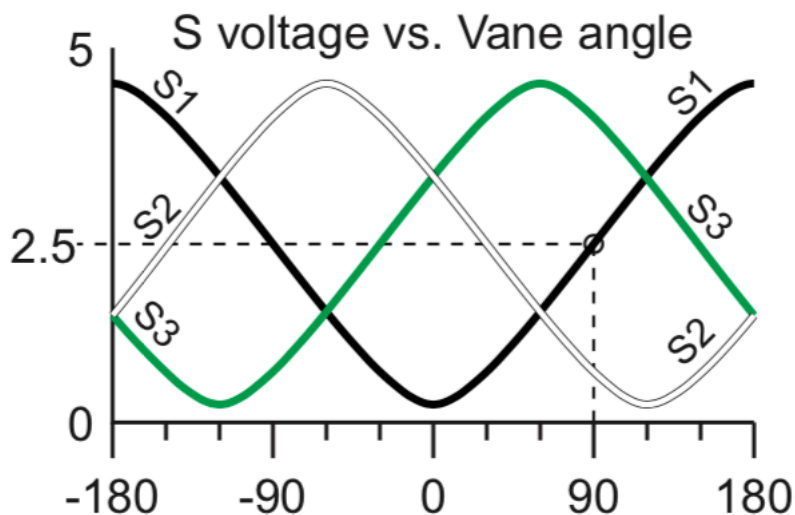


Fig. 7. Voltaje vs ángulo de viento.

2.2.3 Compás principal y secundario.

El compás es una de las herramientas principales en una embarcación de regatas de alta competición, no sólo porque actúa como brújula de la embarcación, sino porque hoy en día todas estas “brújulas digitales” incluyen un sensor *gyro*, que permitirá obtener datos tales como el cabeceo, la escora y las aceleraciones en los distintos ejes de la embarcación. Datos imprescindibles a la hora de realizar cálculos matemáticos cuando la embarcación se encuentra en un mar revuelto en constante movimiento en todas las direcciones.

Al ser una herramienta tan importante a bordo se ha seleccionado como compás principal uno de los compases más potentes que existen en el mercado, usado en navieras, plataformas petrolíferas o cargueros de alta capacidad. El compás Octans de la casa iXblue ofrece una gran lista de ventajas descritas a continuación [3]:

- Salida en tiempo real de alta precisión para escora, cabeceo, rumbo verdadero, elevación, sobretensión, balanceo, aceleraciones y velocidad de giro, incluso en entornos con pérdida de datos GPS / GNSS. La precisión alcanzada para dichas variables puede observarse en la siguiente figura 8.

Main Performances

Heading
accuracy
0.1
deg seclat RMS

Roll & Pitch
accuracy
0.01
deg RMS

Heave
5
cm or % RMS

Fig. 8. Precisión de variables del Octans de iXblue.

- Puertos de entrada/salida: puerto serie RS232/RS422, ethernet (opción en la que comunicaremos en este proyecto), pulsar PPS con $< 100\mu\text{s}$ de sincronización.
- Formatos de comunicaciones con estándares industriales tales como el NMEA0183, código binario y código ASCII.
- Interfaz web que permite al usuario modificar el ángulo de colocación de la embarcación a bordo, tratar con las tramas de datos que manda y recibe el compás y ver el estado y alarmas de errores en todo momento.
- Dando al compás una primera entrada de datos GPS / GNSS, este es capaz de realizar un cálculo interno sobre la posición en la que se encuentra la embarcación en el supuesto de perder las fuentes principales y secundarias de posicionamiento GPS.

Para comprender la importancia que tiene esta clase de datos en las embarcaciones se ha procedido a explicar como se realiza el cálculo de ángulo de rumbo (heading), cabeceo (pitch) y escora (roll).

HEADING

El rumbo o heading es el ángulo entre el plano vertical orientado en la dirección Norte y el plano vertical que pasa a través de OCTANS. El rumbo se cuenta positivo desde el norte, variando de 0 a 360 grados. La orientación de este ángulo se da en la Figura 9, en el supuesto caso de cabeceo nulo y escora nula.

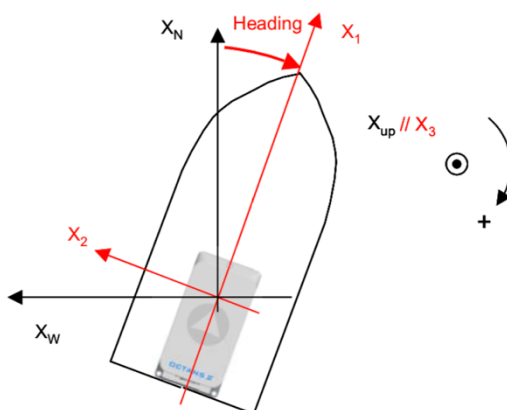


Fig. 9. Cálculo del Heading.

ROLL

Roll o escora se define como el ángulo de rotación realizado alrededor del eje Octans X_1 para que el eje Octans X_2 se encuentre en el plano horizontal local. Para valores de inclinación pequeños, el roll es el ángulo entre el plano horizontal y el eje 2 del Octans. Este ángulo se define por defecto como positivo en la dirección del eje 1, es decir, cuando el lado de babor del barco está hacia arriba. La figura 10 es una ilustración del ángulo de escora con cabeceo nulo.

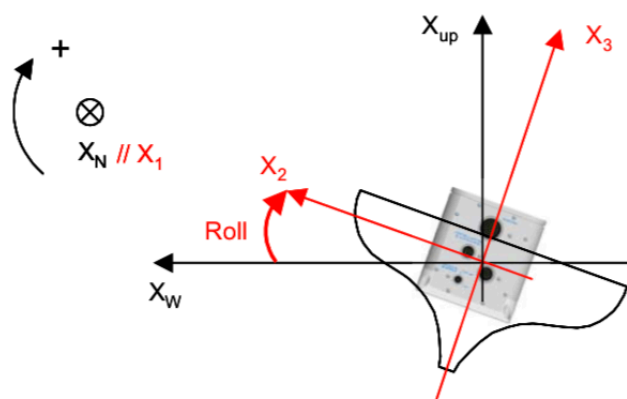


Fig. 10. Cálculo del Roll

HEEL

El pitch o cabeceo de la embarcación es el ángulo entre el eje X1 de Octans y su proyección en el plano horizontal local. Este ángulo se define por defecto como positivo en la dirección del eje X2, es decir, cuando la proa del barco está hacia abajo. La figura 11 es una ilustración del ángulo de inclinación en caso de un heel nulo.

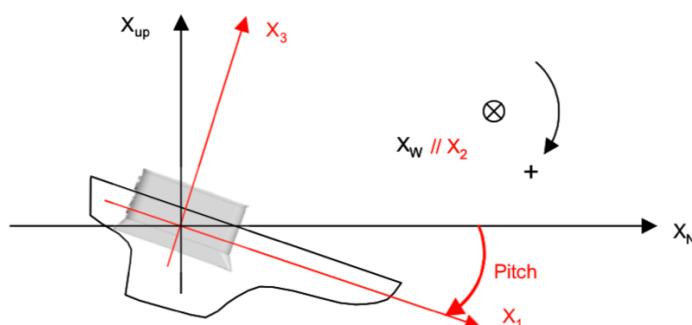


Fig. 11. Cálculo del Pitch.

El Octans proporcionará las variables puras de estas tres variables con una gran exactitud, y a su vez, permitirá situarlas bajando una ola, subiéndola, escorando, etc. Esto servirá para realizar correcciones en las aceleraciones de las lecturas de viento de la veleta situada al tope de mástil, a 35m. de altura.

Como compás secundario se ha seleccionado un Garmin 9-axis, este compás no aporta la exactitud que el compás principal, sin embargo, sí que proporcionará los datos de rumbo, escora y cabeceo en el supuesto de perder el compás principal. Dicho compás se añadirá al sistema CAN de NMEA 2000, descrito con posterioridad.

2.2.4 Sensores de medida con comportamiento lineal.

Muchos de los sistemas de una embarcación de regatas tienen un comportamiento de carácter lineal, esto facilita la captación de datos de dichos sistemas, pues solo es necesario añadir a la mecánica del sistema un sensor que se comporte de manera lineal y varíe su voltaje en función de la variable del sistema que estamos midiendo.

Ejemplos de estos sistemas serían los pistones hidráulicos que se encargan de mover la jarcia y trabajan con altos valores de carga/tensión. Los propios movimientos de cabuyería encargados de mover velas, poleas, carros, ..., se comportarán de manera “mecánicamente lineal”.

Los sensores que se han seleccionado para realizar dichas medidas han sido sensores potenciómetros y sensores magnéticos descritos a continuación.

- **StringPot SM2-12 / SM2-25:**

Los sensores StringPot son potenciómetros muy compactos y fácilmente instalables en espacios reducidos que cuentan con un cable extensible que se encargará de modificar la posición del propio potenciómetro. Este sensor cuenta con 3 hilos (alimentación, GND y señal). El módulo EL3255 descrito con anterioridad, se encargará de la alimentación y recogida de la señal del sensor.

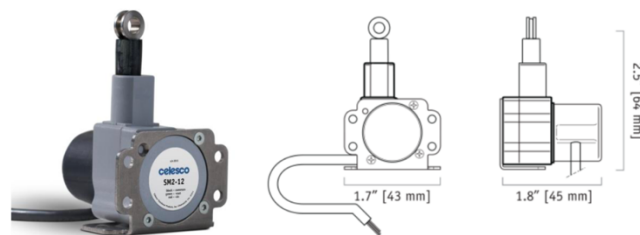


Fig. 12. StringPot SM2-12.

Con poco más de una pulgada de ancho, este potenciómetro en miniatura ofrece rangos de medición de 12 a 25 pulgadas. Un potenciómetro híbrido de plástico de precisión de 10 k Ω , entrega una señal de salida correspondiente a la tensión del divisor de voltaje que es linealmente proporcional al recorrido del cable de medición con resorte figura 13.

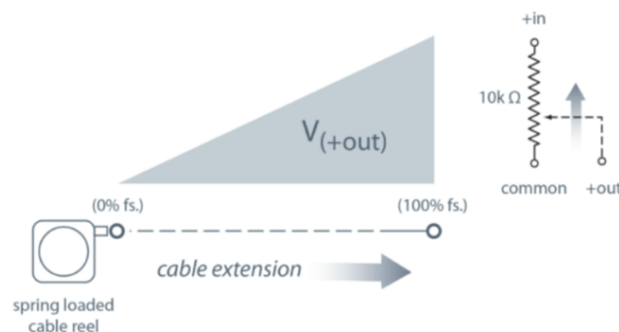


Fig. 13. Funcionamiento SM2-12.

- **SMART position sensor 180°:**

La casa “Honeywell” es la encargada de fabricar estos sensores magnéticos con activador. La marca cuenta con varios modelos de sensor, estos constan de un arco magnético por el que se moverá un activador encargado de excitar dicho sensor.

El modelo seleccionado en este caso ha sido el SPS-A180D-VAMS, este modelo abarca un ángulo de 180°, necesario para tomar la medida de del ángulo de timón.

El timón de un barco de regatas cuenta con una pala fija a un tubo circular que traspasa todo el barco hasta cubierta donde con un sistema de poleas está conectado a las ruedas que ayudarán a dirigir la embarcación.

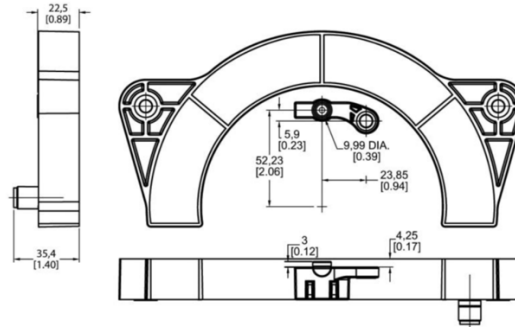


Fig.13. SPS-A180D-VAMS.

Este semicírculo se ha colocado rodeando el cilindro al que esta fijado la pala del timón, mientras que el propio activador se encuentra fijo en el propio cilindro, el giro de la pala hará que el activador se desplace por el sensor magnético generando variaciones de voltaje de forma lineal. El funcionamiento del mismo se muestra la gráfica de la figura 14.

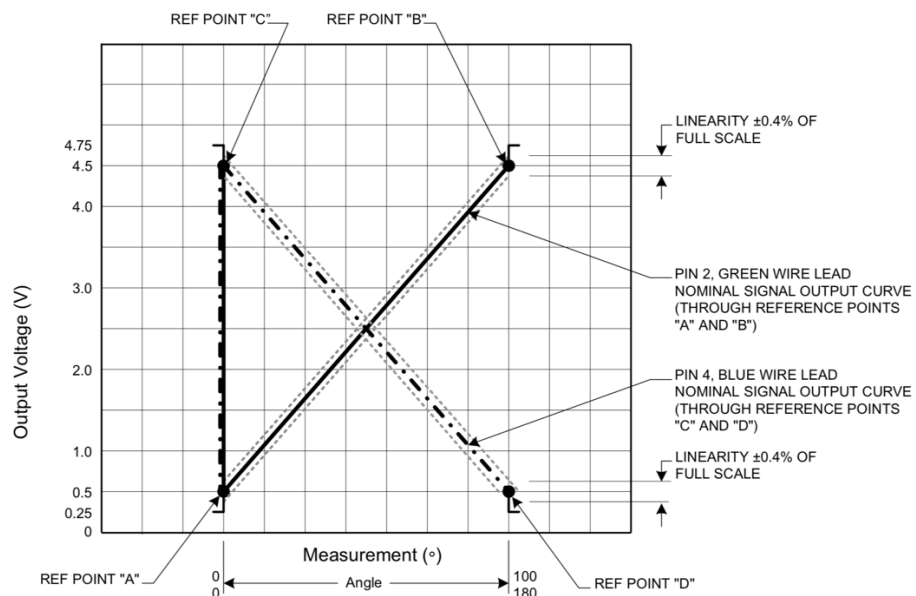


Fig. 14. Funcionamiento SPS-A180D-VAMS.

2.2.5 GPS principal y secundario.

Una de las piezas principales de toda embarcación, ya sean de regatas o de recreo, es su sistema de posicionamiento GPS. Tanto en las embarcaciones de recreo, como en la embarcación objeto de este proyecto, de regata de altura o regatas “Offshore”, a unas 15 millas de costa (30 km aproximadamente), se pierde la vista de cualquier tipo de referencia con tierra, por lo que saber donde nos encontramos es primordial. Las embarcaciones de regata también participan en regatas costeras, regatas “Inshore”, estas consisten en un recorrido de boyas que deberán cumplir en el menor tiempo posible, por lo que conocer la posición del barco en relación a dichas boyas también es imprescindible.

El sistema consta de una antena y un procesador. Para la embarcación, Bellamente Racing, se ha tomado la decisión de usar como fuente de GPS principal una antena pasiva de la marca Taoglas combinada con un procesador GPS de la marca Novatel, posteriormente se recogerá la salida de dicho procesador mediante un puerto Ethernet en el router principal (apartado 2.4).

- **La Antena: Spartan Antenna 3in1 MA.605.**

El peso y el espacio que ocupan los dispositivos que se instalan en este tipo de embarcaciones debe ser lo más reducido posible, este ha sido el criterio de la selección de una antena de la marca Taoglas; la cual ofrece antenas que tienen la opción de incluir varias tecnologías en una misma antena. La Spartan Antenna 3in1, en concreto ofrece la posibilidad de obtener señal GPS/GLONASS/GALILEO, señal celular; así como banda Wi-Fi 2.4~5.8GHz, cada una de estas señales se obtiene por un cable distinto tal y como se puede observar en la figura 15. En este caso se conectará la salida GPS a la entrada coaxial del procesador y las salidas Wifi y celular al router principal, según se explica en los siguientes apartados.

Además, esta antena cuenta con un nivel de impermeabilidad IP67, también soporta temperaturas de -40 a 85°C, por lo que se adaptara a la perfección en las instalaciones exteriores de la embarcación.

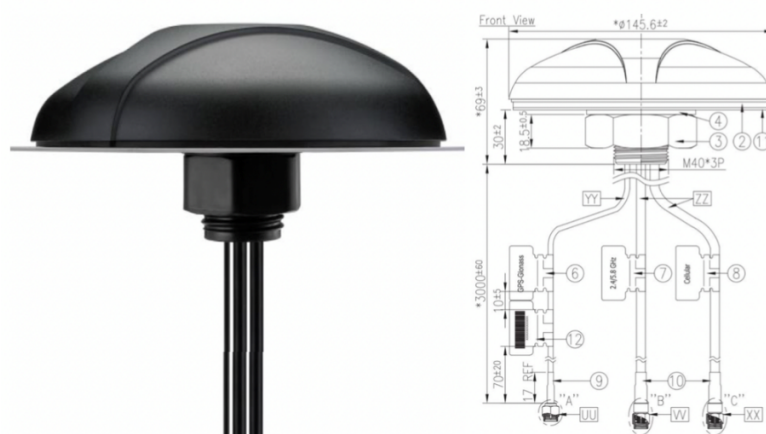


Fig. 15. Spartan Antenna 3in1 MA.605.

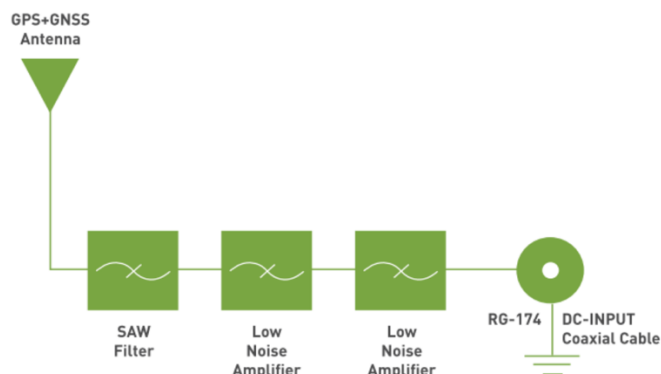


Fig.16. Diagrama de bloques de la Spartan Antenna.

En la figura 16 se puede observar el diagrama de bloques de la antena. En ella se aprecia que la antena cuenta con un filtro SAW (Surface Acoustic Wave) y con dos amplificadores de bajo ruido. El filtro SAW servirá para transformar una onda acústica a una futura señal eléctrica [4], que, pasará por los amplificadores permitiendo así que dicha señal de muy baja potencia sea amplificada sin degradar significativamente su relación señal / ruido [5].

En la hoja de especificaciones de la propia antena [6] se puede ver el estudio realizado de dicha antena, sobre datos tales como las pérdidas por retorno, planos de radiación, ganancias, VSWR, plano de radiación en espacio libre, etc. Prácticamente todos los ensayos se han realizado para las tres funcionalidades de la antena GPS/GNSS, celular y Wifi.



Fig. 17. Izquierda. Distribución de Antenas GPS / Derecha. Instalación antena GPS principal.

En la figura 17 se puede observar los puntos en los cuales se instalarán las antenas, en los candeleros de popa. La elección de estos puntos cuenta con una serie de ventajas, la directividad de dichas antenas es una de las principales, y el hecho de minimizar las interferencias de señales electromagnéticas, gracias a que el barco está fabricado prácticamente en su totalidad con fibra de carbono; siendo dicho material no conductor para señales electromagnéticas se evitarán posibles interferencias. Se colocarán 3 antenas GPS, la principal (GPS1), la secundaria (GPS2) y la línea directa al sistema de posicionamiento AIS (GPS for AIS).

Esta última antena GPS ha sido instalada según el punto 10.5 del estándar internacional IEC 62287-1, referente a sistemas y equipos de radiocomunicación para la navegación marítima [7], obliga a tener una entrada directa de GPS/GNSS a los equipos de posicionamiento AIS.

Otra de las ventajas que ofrece la antena GPS1 es la de proporcionar acceso a internet al sistema de abordaje, dicho acceso será usado para poder descargar datos de *gribs* meteorológicos, así como transmitir datos registrados tras una regata al equipo de analistas o diseñadores de velas.

El navegante a bordo es la persona encargada de gestionar todos los “datos electrónicos” en tiempo real durante la regata, normalmente suele situarse en posiciones más cercanas a la popa del barco, por lo que, la posición de la antena GPS1 en uno de los candeleros de popa también facilitará la conexión wifi que el navegante usará para realizar una conexión remota desde su tableta al ordenador de abordaje, en el que estará trabajando el software de navegación encargado de mostrarle toda la información en tiempo real de: posición de boyas, tiempo en alcanzarlas, datos de los sensores, etc...

Se ha seleccionado como antena GP2 secundaria instalada en cubierta, el modelo de antena GPS Garmin 19x NMEA2000, esto permitirá que si en algún supuesto se perdiesen los datos de posición que provienen de la antena GPS1 se podrían recibir los datos PGN puros de GPS de la red NMEA2000 (se explicará en el punto 2.3).

- **El Procesador: NovAtel FlexPak-6.**

Con la finalidad de obtener una señal de mayor calidad y reducir interferencias se ha tomado la decisión de hacer uso de una antena pasiva, es por ello que se ha instalado un procesador dedicado a recoger la señal que proviene de la antena GPS.



Fig. 18. NovAtel FlexPak-6.

El procesador se instalará bajo cubierta. Su elección viene determinada por las condiciones de trabajo, en verano se asumen temperaturas elevadas en el interior de un barco de carbono al sol, es por ello que una de las características que debe cumplir el procesador seleccionado es poder operar a altas temperaturas, la temperatura de funcionamiento del NovAtel FlexPak 6 es de -40° a $+75^{\circ}\text{C}$, lo que casa con las necesidades del proyecto.

Hay dos requisitos más que debe cumplir el procesador, que son necesarios a la hora de tomar la decisión de escogerlo. El primero es el número de canales de frecuencia que admite el receptor, en este caso todos los posibles (L1, L2, L2C y L5), y el segundo es el tipo de conectividad que ofrece el propio procesador, en este caso cabe la posibilidad de recoger la información mediante

un puerto ethernet que posteriormente se llevará al *router* principal, instalado también bajo cubierta y relativamente cerca al propio procesador.

Es importante que el procesador capte todos los canales de frecuencia, puesto que la precisión de cálculo de la posición de boya o puntos de marcación en cartas náuticas debe ser muy elevada, los canales con los que se trabaja son los siguientes [8]:

L1: 1575.42 MHz: Esta portadora se utiliza para proporcionar el código de Adquisición Aproximada (C/A o Coarse Acquisition) y los códigos de cifrado de precisión P (Y). También se utiliza para transmitir la señal L1C (L1 Civil) y los códigos militares (M) en los satélites del Bloque III.

L2: 1227.60 MHz: Esta señal se utiliza para transportar el código P (Y), así como la señal L2C y códigos militares en los satélites del Bloque IIR-M y satélites posteriores.

L5: 1176.45 MHz: Se está proponiendo esta señal GPS para uso civil como una señal de salvaguardia de vida (SoL).

L2C: C por Civil, es más reciente que el L1 C / A, y consta de dos códigos, el CM L2 (Civil Moderado) y L2 código LC (Civil Largo). El código L2 CM se repite después de 20 ms y tiene una velocidad de chip de 511.5 kbps, mientras el código L2 CL se repite después de 1,500 ms, pero tiene la misma velocidad de chip que el código de L2 CM. La frecuencia portadora L2 es de 1226.6 MHz.

Acudiendo al manual operacional del FlexPak-6 podemos ver que en los pines 1,2,6 y 7, del conector I/O (Apreciable en la figura 18), se encuentra la transmisión/recepción de datos ethernet del procesador, con lo que se ha hecho uso de esos pines para comunicar en un futuro con el router principal.

Connector Pin No.	Signal Name	Input/Output	Signal Descriptions
1	ETH_TD+	Input/Output	
2	ETH_RD+	Input/Output	
3	CAN1+	Input/Output	
4	No connect		
5	GND		Digital ground
6	ETH_TD-	Input/Output	
7	ETH_RD-	Input/Output	
8	CAN1-	Input/Output	
9	MODE	Input	When grounded (e.g., connected to pin 5), enables RS-422 mode for COM2. RS-232 is the unconnected default
10	EVENT2	Input	Mark 2 input. This input has in internal pull-down and buffers the input to the OEM628 card
11	EVENT1	Input	Mark 1 input. This input has in internal pull-down and buffers the input to the OEM628 card
12	VARF	Output	Variable frequency out
13	ERROR	Output	Indicates a fatal error when high. The antenna port LED also turns red during a fatal error
14	PV	Output	Valid position available. The antenna port LED also turns green for a valid position
15	PPS	Output	Pulse per second

Fig. 19. Pin-Out conector FlexPak6 I/O.

2.2.6 Sistema de comunicación vía satélite.

La embarcación objeto de este proyecto tiene previsto participar en la gran mayoría de regatas costeras (“regatas inshore”); sin embargo, también cabe la posibilidad de participar en las regatas de altura (“regatas offshore”) que se realicen. Es por ello, que el sistema de comunicaciones vía satélite no debe ser una instalación fija en la embarcación, sino que se ha de poder montar y desmontar para reducir así el peso de la embarcación cuando no sea necesario para la competición; puesto que el peso del conjunto total de terminal, antena, teléfono y cableado puede oscilar alrededor de los 10 kg.

En regatas de altura es imprescindible contar con una conexión a internet y de telefonía móvil, ya no solo por un tema de descarga de *gribs* meteorológicos o comunicaciones con el equipo técnico que hay en tierra, sino también por un tema de seguridad. Prácticamente en todos estos tipos de regatas el reglamento es muy claro en este aspecto, si no hay comunicaciones vía satélite no se puede competir en dicha regata.

El sistema elegido en este proyecto es el SAILOR 250 FleetBroadband de la empresa Inmarsat.



Fig. 20. SAILOR 250 FleetBroadband.

Se puede observar en la figura 20, que el SAILOR 250 FleetBroadband consta del conjunto de antena, terminal y teléfono. La instalación de todos estos dispositivos se hará colocando la antena en un soporte removible en el popa del barco, para respetar la distancia de seguridad de radiación que se debe tener con dicha antena, el terminal se colocará justo debajo de la misma bajo cubierta, llevando el teléfono, con el que se operará para posibles llamadas de emergencia o comunicaciones diversas, a la mesa de cartas o mesa de navegación donde se colocará el ordenador de a bordo y desde donde operará el navegante.

El propio equipo será el encargado de gestionar una tarifa de comunicaciones según requerimientos con la propia empresa Inmarsat, y esta finalmente suministrará una tarjeta SIM que irá instalada en el terminal. Una vez gestionado el contrato de comunicaciones la antena será la encargada de comunicarse con el satélite en cuestión, que posteriormente comunicará con una estación de acceso satélite (SAS: Satellite Access Station), proveedora de internet y telefonía móvil. Una vez captada esta información por la antena, esta transmitirá los datos al terminal que a su vez los transmitirá al ordenador de a bordo y al teléfono (IP Handset). En la siguiente figura 21, se puede ver un diagrama del funcionamiento a rasgos generales.

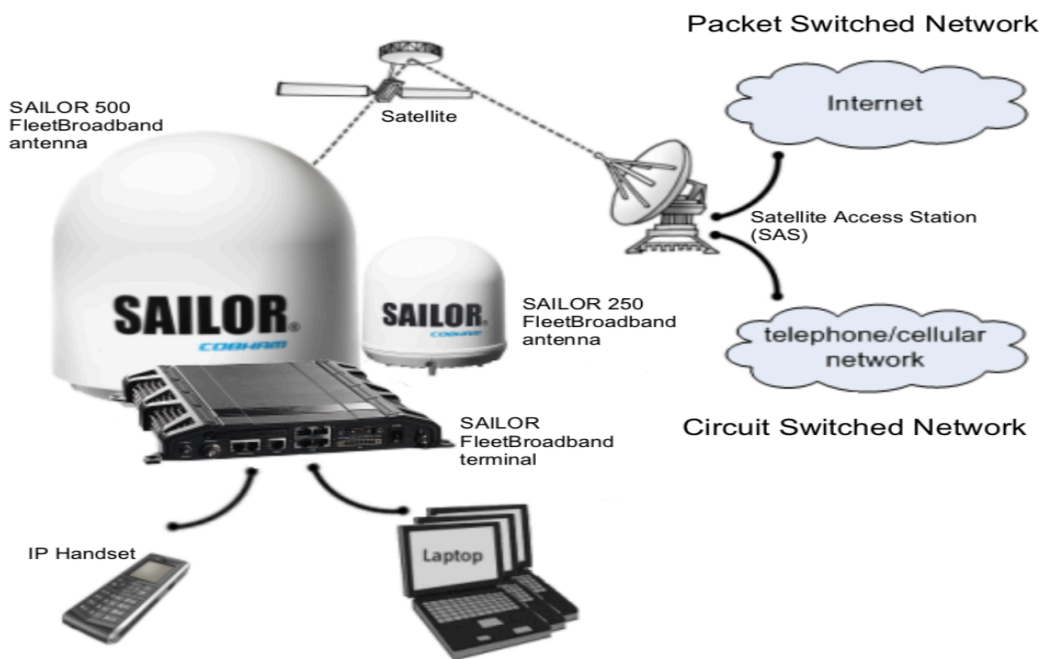


Fig. 21. Diagrama de funcionamiento del SAILOR 250 FleetBroadband.

A la hora de buscar una empresa que proporcione las comunicaciones vía satélite, el servicio y la cobertura que cumpla con las necesidades del cliente, se ha considerado primordial la cobertura a nivel internacional, es decir, este tipo de embarcaciones compete en todo el mundo, norte américa, caribe, Australia, etc... El mapa de coberturas de cada una de las empresas servirá para la toma de decisión respecto a la elección de las comunicaciones que se utilizarán a bordo. La empresa de Inmarsat es una de las más fiables a nivel mundial en términos de cobertura, pues sus satélites ofrecen cobertura a nivel global, es por ello que la decisión se decanta a hacer uso de sus servicios. A continuación, se puede ver el mapa de coberturas que suministra la propia compañía.

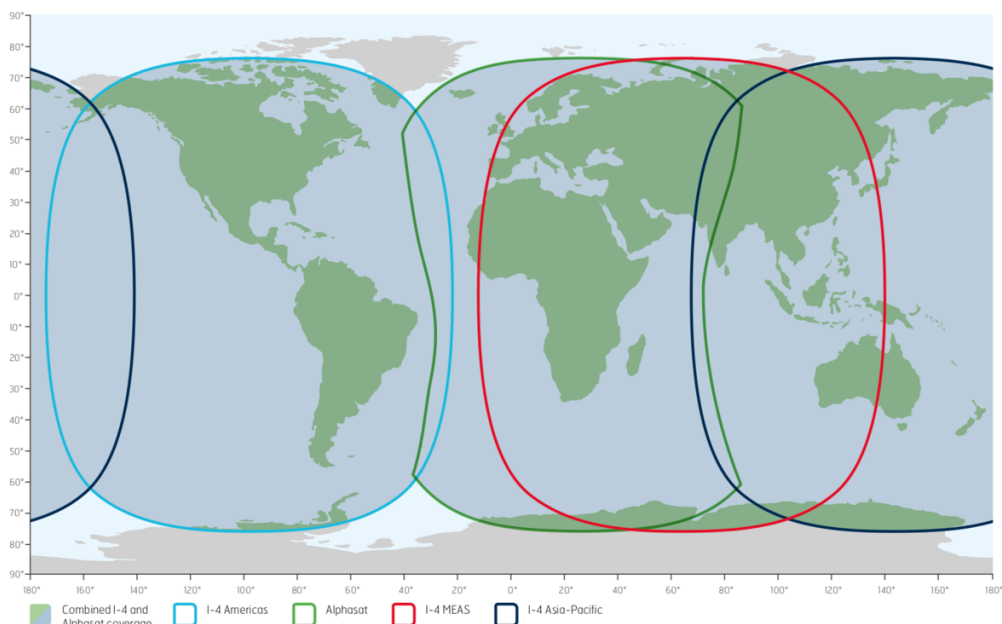


Fig. 22. Mapa de cobertura Inmarsat.

2.3 Red NMEA2000.

2.3.1 Conceptos básicos NMEA2000.

NMEA 2000 es una norma de comunicación *plug-and-play* entre dispositivos electrónicos para embarcaciones y barcos encargada de fijar, tanto un protocolo de comunicaciones, como las especificaciones de los conectores y cableado que se instalarán en el circuito o diseño en cuestión. Fue definido por la “National Marine Electronics Association” con el propósito de sustituir al anterior protocolo NMEA 0183.

Está basado en el protocolo de comunicaciones industriales *Controller Area Network* (también referido por el acrónimo CAN), que permite una alta fiabilidad de la señal y se encuentra diseñado para trabajar en red. [9]

El protocolo de comunicaciones NMEA 2000 ofrece unas prestaciones mucho mayores que el NMEA 0183 (basado en un protocolo de comunicaciones puerto serie), con una velocidad de 250 kilobits por segundo y con posibilidad de conectar en red hasta 50 dispositivos electrónicos diferentes. [10]

Se definen a continuación los componentes básicos que conforman una red de comunicaciones básica NMEA 2000.

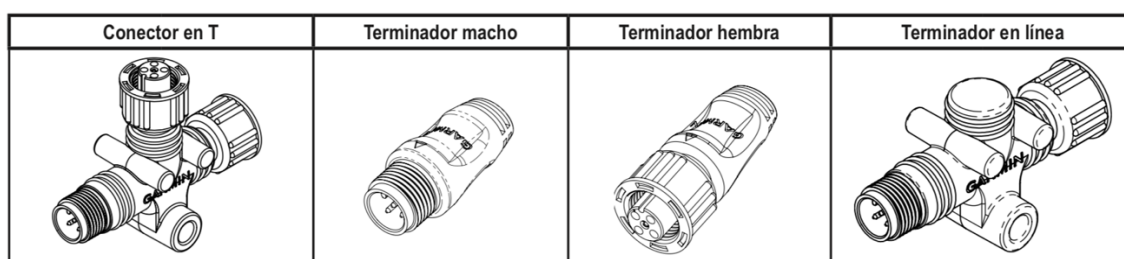


Fig. 23. Conectores y terminadores básicos NMEA 2000.

En la figura 23 se pueden ver los principales conectores y terminadores que entran en juego en cualquier red NMEA 2000:

- Conector en T: conector de tres direcciones con un microconector macho y dos microconectores hembra. Se utiliza para conectar un dispositivo NMEA 2000 o un “drop cable” al “back bone” o cable principal NMEA 2000.
- Terminador macho: resistencia de 120 ohmios colocada en uno de los extremos del cable principal NMEA 2000. Una terminación correcta ayuda a garantizar la integridad de la señal a través de todo el cableado principal.
- Terminador hembra: resistencia de 120 ohmios colocada en el otro de los extremos del cable principal NMEA 2000 para finalizar la red creada.
- Terminador en línea: terminador especial con conectores macho y hembra en cada extremo. Permite la conexión directa a un dispositivo situado en el extremo del cable principal NMEA 2000. Simplifica la instalación, ya que no se necesita de un conector en T, terminador, ni cable de caída de voltaje para el dispositivo conectado en el extremo del cable principal.

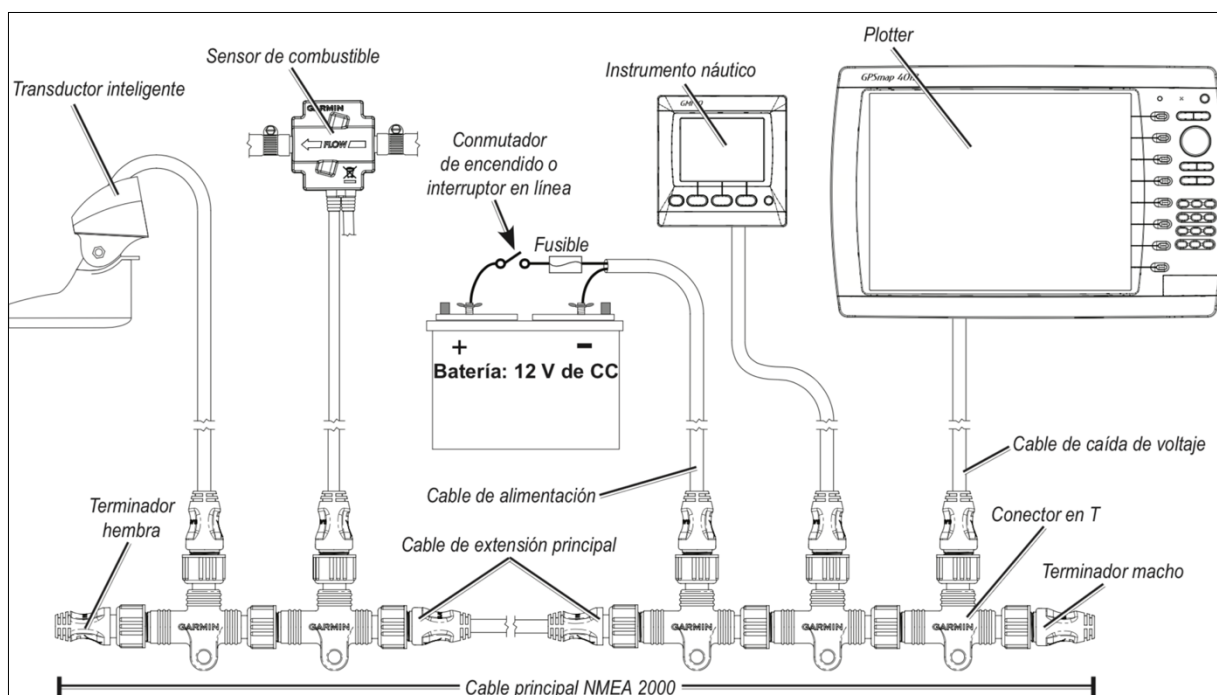


Fig. 24. Ejemplo básico de una red NMEA 2000.

En la figura superior podemos ver un ejemplo de una red básica NMEA 2000, de derecha a izquierda empezando por la parte inferior se puede ver como se empieza la red con un terminador macho, unido al cable principal NMEA2000, también denominado “back bone”, al que se le han añadido con conectores en T que permiten unir diferentes elementos, tales como: un *Plotter* (instrumento náutico usado para ver cartografía), un instrumento náutico para visualización de datos, un sensor de combustible y un transductor inteligente. La alimentación de la red se ha situado en el centro de la misma, continuando con un cable de extensión Finalmente se ha cerrado la red NMEA 2000 con un terminador hembra.

Este ejemplo de red debe cumplir una serie de condiciones para su correcto funcionamiento, tales como el terminador de inicio y de fin de la red con resistencias de 120 ohmios, la alimentación en el centro de la red, hacer uso de cables de caída de voltaje, etc... Todas estas condiciones se detallarán en el siguiente apartado donde se enumera la normativa y las condiciones de una red NMEA 2000.

2.3.2 Normativa y condiciones NMEA 2000.

Como cualquiera de los protocolos de comunicaciones CAN la red NMEA 2000 cuenta con una serie de condiciones que deben de cumplirse para asegurar un correcto funcionamiento de la red, evitar pérdida de datos, problemas de consumos o de ruidos. A continuación, se describen dichas condiciones y conceptos en los apartados: construcción lineal del “Back Bone”, límites de longitud de cable y dispositivos, distribución y alimentación, y correcta terminación.

- **Construcción lineal del “Back Bone”:**

El “Back Bone” también conocido como cable principal de NMEA 2000 es el cuerpo principal de la red NMEA 2000, de él derivan los “Drop Cables” o cables de conexión con los dispositivos. A la hora de añadir dispositivos se debe usar un conector en T

para cada dispositivo individualmente, haciendo uso de los extremos laterales para construir el cable principal de la red NMEA 2000. El conector central del conector en T se usará para conectar el “drop cable” al que irán añadidos los dispositivos. Conectando únicamente los laterales de los conectores en T para generar la red se consigue crear una linealidad en la misma. Los conectores en T pueden unirse entre ellos con cables de extensión o directamente entre ellos (tal y como puede observarse en la figura 24).

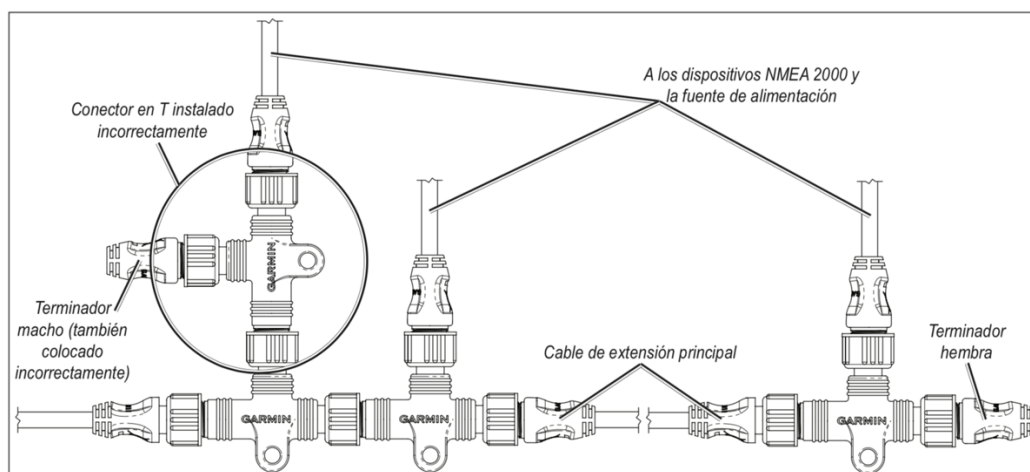


Fig. 25. Construcción incorrecta del “Back Bone”.

En la figura 25 se puede ver una construcción incorrecta del “Back Bone”, haciendo uso de los tres extremos de un conector en T para conectar otros conectores en T, y finalizando la red con un terminador en el conector central de otro conector en T. En la figura 24 se puede apreciar la correcta distribución y conexión del cable principal de NMEA 2000.

Para los cables de extensión del “Back Bone” no se ha podido usar en la totalidad cableado *standard* de NMEA 2000, es por ello que se ha hecho uso de bobinas de cable trenzado de 4 hilos más malla, así como conectores M12 de 5 contactos de la marca “Phoenix Contact” modelos SACC-M12MS-5PL (machos) y SACC-M12FS-5PL (hembras).

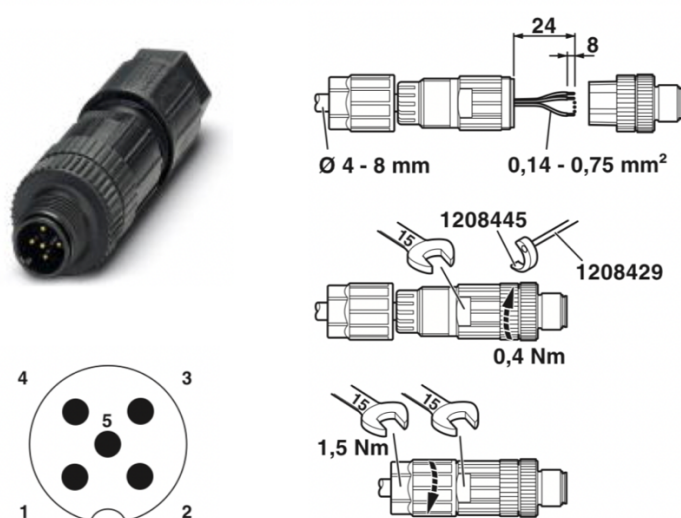


Fig. 26. Conector Phoenix Contact SACC-M12MS-5PL.

En la figura 26 se muestra el conector macho con el que se ha generado la mayoría de cables de extensión *custom* para la red NMEA 2000. En ella se puede ver el *PinOut* del propio conector, todos los conectores de una red NMEA 2000 deben seguir el siguiente *PinOut*:

PIN	Funcionalidad
1	Shield (Malla)
2	Alimentación 12V
3	GND (Ground)
4	CAN - High
5	CAN - Low

En uno de los siguientes puntos (distribución y alimentación) se habla de la alimentación que debe tener la red NMEA 2000, sin embargo, a continuación, es importante explicar en que consisten los pines de CAN-High, y CAN-Low para entender el correcto funcionamiento de una red CAN, en este caso el protocolo marítimo NMEA 2000.

La transmisión de señales en un bus CAN se lleva a cabo a través de dos cables trenzados. Las señales de estos cables se denominan CAN-H (CAN high) y CAN-L (CAN low) respectivamente. El bus tiene dos estados definidos: estado dominante y estado recesivo. En estado recesivo, los dos cables del bus se encuentran al mismo nivel de tensión (*common-mode voltage*), mientras que en estado dominante hay una diferencia de tensión entre CAN-H y CAN-L de al menos 1,5 V. La transmisión de señales en forma de tensión diferencial, en comparación con la transmisión en forma de tensiones absolutas, proporciona protección frente a interferencias electromagnéticas.

La tensión en modo común puede estar, según la especificación, en cualquier punto entre -2 y 7 V. La tensión diferencial del bus (la diferencia entre CAN-H y CAN-L) en modo dominante debe estar entre 1,5 y 3 V. No se especifica, en cambio, que la tensión de modo común, cuando el bus está en modo recesivo, deba estar comprendida entre la tensión de CAN-L y la tensión de CAN-H cuando el bus está en modo dominante. Esto permite la conexión directa entre nodos que operen a distintas tensiones, e incluso nodos que sufran diferencia de tensión entre sus respectivas tierras. [11] [12]

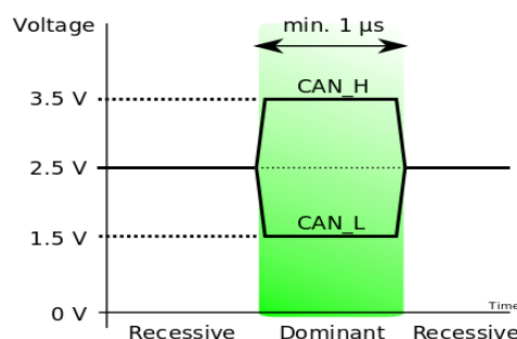


Fig. 27. Niveles de tensión en un bus CAN.



- **Límites de longitud de cable y dispositivos:**

A la hora de crear una red NMEA2000 hay que tener en cuenta una serie de consideraciones referentes a la longitud del cableado que se usa con la finalidad de cumplir con las especificaciones de alimentación y de transmisión/recepción de datos, siendo estas las siguientes.

- La distancia que existe entre dos puntos cualesquiera de una red NMEA 2000 no debe de ser superior a los 328 pies (100m). A la hora de realizar el calculo de esta distancia, se debe medir la distancia entre los dos terminadores del cable principal y sumarle la longitud del cable de caída de voltaje de los dispositivos conectados a los conectores en T de ambos extremos de la red.
- La suma de todos los *drop cables* o cables de caída de voltaje no puede superar los 256 pies (78 m), es decir, sumando todos los cables que unen dispositivos con el *back bone* no puede superar la distancia anteriormente mencionada.
- La longitud máxima de un solo *drop cable* o cable de caída de voltaje conectado a un dispositivo NMEA 2000 no debe ser superior a 20 pies (6 m).
- En el computo general de cualquier red NMEA 2000 no puede haber conectados más de 50 dispositivos NMEA 2000.

- **Distribución y alimentación:**

La red NMEA 2000 debe ser conectada a una fuente de alimentación de 12 V de CC. En ningún caso se deberá conectar la red NMEA 2000 a una fuente de alimentación de 24 V de CC o superior. A la hora de alimentar la red se deberá utilizar un cable de alimentación NMEA 2000 para conectar el *back bone* o cable principal NMEA 2000 al conmutador de alimentación auxiliar de la embarcación. En el supuesto de no disponer de un conmutador de alimentación auxiliar, o, por el contrario, si la conexión a este produce interferencias eléctricas, es posible conectar el cable de alimentación NMEA 2000 directamente a la batería instalando un conmutador en línea.

Es imprescindible asegurarse de que la tierra de la NMEA 2000 esta conectada debidamente al polo de tierra de nuestra fuente de alimentación. El hilo de drenaje o malla irá conectado en la misma ubicación que el hilo de tierra.

El cable de alimentación NMEA 2000 se conecta a un conector en T al igual que otros *drop cables* o cables de caída de voltaje.

La fuente de alimentación puede ir conectada tanto en el extremo de la red NMEA 2000 como en el centro de la misma. Al planear la ubicación del cable de alimentación y el conector en T en la red NMEA 2000, se deberá evaluar el consumo de energía de los dispositivos NMEA 2000 que vaya a conectar a la red. La red NMEA 2000 funcionará correctamente siempre que no haya una caída de voltaje superior a 3 V de CC en el suministro de tensión entre la fuente de alimentación y el dispositivo NMEA 2000 que se encuentre más alejado de la fuente de alimentación de la red NMEA 2000. Para calcular la caída de voltaje de la red NMEA 2000, se deberá aplicar esta ecuación:

Caída de voltaje = Resistencia del cable (ohmios/m) x Distancia (de batería a dispositivo más alejado) x Carga de la red x 0,1

Siendo la carga de la red suma de los números de equivalencia de carga (LEN) entre la batería y el extremo de la red. Los valores de LEN de cada dispositivo deben aparecer en el dispositivo o en la documentación del mismo.

Si se obtiene una caída de tensión inferior a 3 V de CC, se podrá conectar la fuente de alimentación en uno de los extremos o en el centro de la red NMEA 2000 y esta

funcionará correctamente. En el caso de obtener una caída de tensión superior a 3 V de CC, se deberá conectar la fuente de alimentación en el centro de la red NMEA 2000. La ubicación dependerá de la carga de la red y de la distancia desde la batería hasta los dispositivos conectados a la red. Es necesario equilibrar la caída de voltaje en ambos lados de la fuente alimentación.

Las siguientes figuras mostrarán ejemplos de red NMEA 2000, siendo estos, diseño incorrecto de una red NMEA 2000 con la fuente de alimentación conectada a un extremo, diseño correcto de una red NMEA 2000 con la fuente de alimentación conectada a un extremo y diseño correcto de una red NMEA 2000 con la fuente de alimentación conectada en el centro. Todas ellas van seguidas de sus correspondientes cálculos de caídas de tensión. En todos los ejemplos se hará uso de una resistencia de cable de 0,053 que es la resistencia *standard* de los cables NMEA 2000.

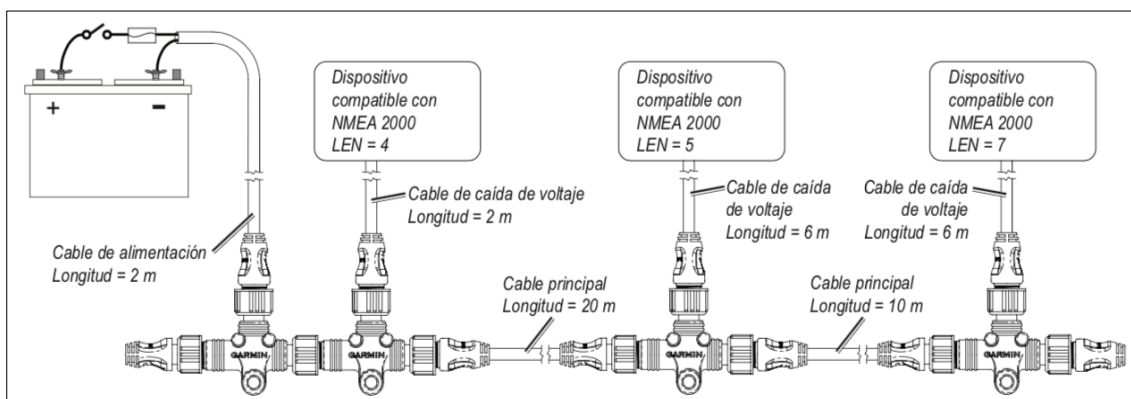


Fig. 28. Diseño incorrecto de una red NMEA 2000 con la fuente de alimentación conectada a un extremo.

Aplicando la fórmula de caída de tensión al ejemplo de la figura 28, se puede observar que dicha caída supera los 3 V de CC, con lo cual, la red NMEA 2000 no funcionará correctamente con la fuente de alimentación conectada a un extremo.

$$\text{Caída de voltaje} = 0,053 \times (2 + 20 + 10 + 6) \times (4 + 5 + 7) \times 0,1 = 3,22 \text{ V}$$

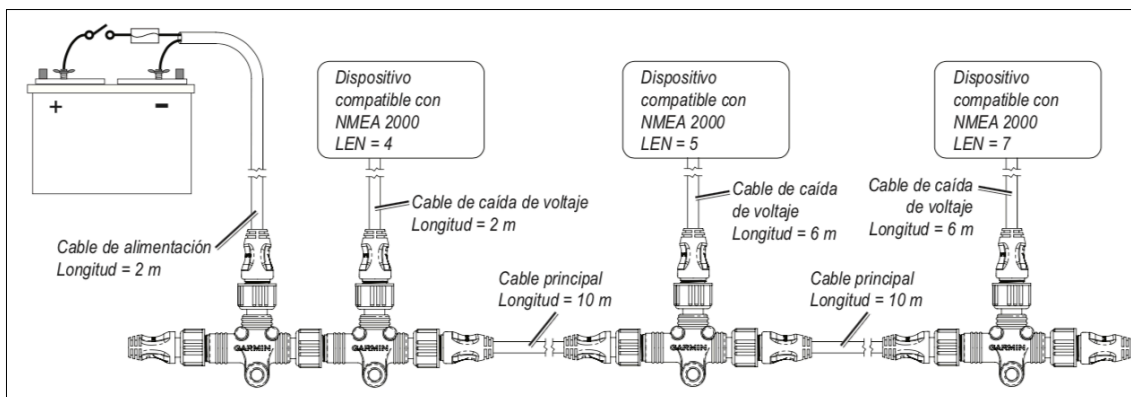


Fig. 29. Diseño correcto de una red NMEA 2000 con la fuente de alimentación conectada a un extremo.

Aplicando la fórmula de caída de tensión al ejemplo de la figura 29, se observa que dicha caída es inferior a 3 V de CC, con lo cual, esta red NMEA 2000 si funcionará correctamente con la fuente de alimentación conectada en el extremo.

$$\text{Caída de voltaje} = 0,053 \times (2 + 10 + 10 + 6) \times (4 + 5 + 7) \times 0,1 = 2,37 \text{ V}$$

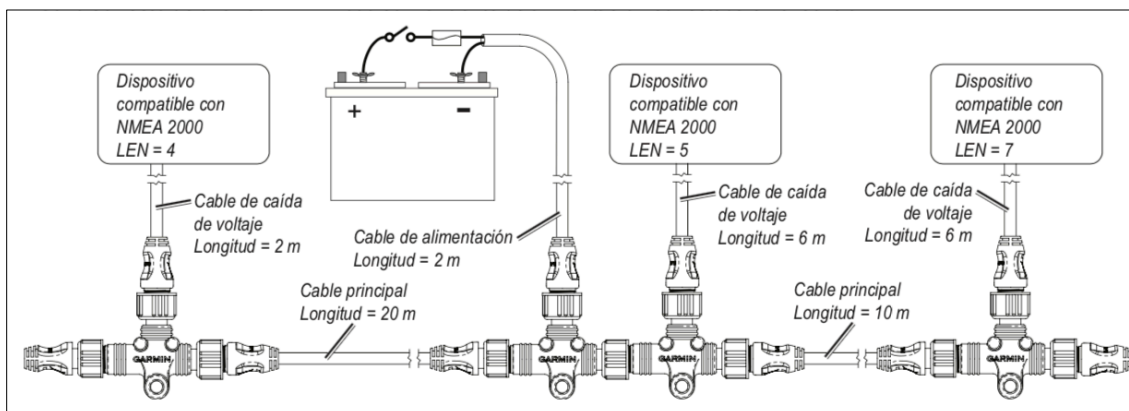


Fig. 30. Diseño correcto de una red NMEA 2000 con la fuente de alimentación conectada en el centro.

Corrigiendo el diseño de la figura 28, se conecta la fuente de alimentación en el centro de la red NMEA 2000. A la hora de realizar el cálculo de la caída de tensión, deberá calcularse dicha caída en ambas direcciones izquierda y derecha. Si el conector en T al que se ha conectado la fuente de alimentación está conectado a su vez a otro conector en T directamente (tal y como se muestra en este ejemplo), se utiliza el valor de LEN de ese dispositivo como parte del cálculo en ambas direcciones.

Aplicando la fórmula de caída de tensión en ambas direcciones del ejemplo de la figura 29, se observa que dicha caída es inferior a 3 V de CC, por lo que esta red NMEA 2000 funcionará correctamente con la fuente de alimentación conectada en el centro.

$$\text{Caída de voltaje lado izquierdo} = 0,053 \times (2 + 20 + 2) \times (4 + 5) \times 0,1 = 1,448 \text{ V}$$

$$\text{Caída de voltaje lado derecho} = 0,053 \times (2 + 10 + 6) \times (5 + 7) \times 0,1 = 0,114 \text{ V}$$

- **Correcta terminación:**

A la hora de finalizar la instalación de una red NMEA 2000 deberá cerrarse la misma con un terminador macho en un extremo de la línea y otro terminador hembra al otro extremo de la línea. Ambos terminadores no son más que unos conectores similares a los usados para realizar cableado *custom*, con resistencias de 120 ohmios instaladas en el interior que ayudan a garantizar la integridad de la señal. Hay dos opciones a la hora de finalizar una red con terminadores.

En el caso de haber realizado una instalación lineal de la red NMEA 2000 se puede añadir un terminador macho al inicio de la línea y uno hembra al final (véase figura 24).

En el supuesto de que uno o los dos dispositivos NMEA 2000 situados en ambos extremos de la red NMEA 2000 se encuentra separado del resto de la red por un cable principal, y la combinación conector en T/cable de caída de voltaje/terminador típica no es viable o resulta demasiado voluminosa, se utiliza un terminador en línea en lugar del último conector en T del cable principal. Conectando el último dispositivo al terminador en línea con un *drop cable* o cable de caída de voltaje de la longitud adecuada, o bien conectando el último de los dispositivos directamente al terminador en línea (véase figura 31).

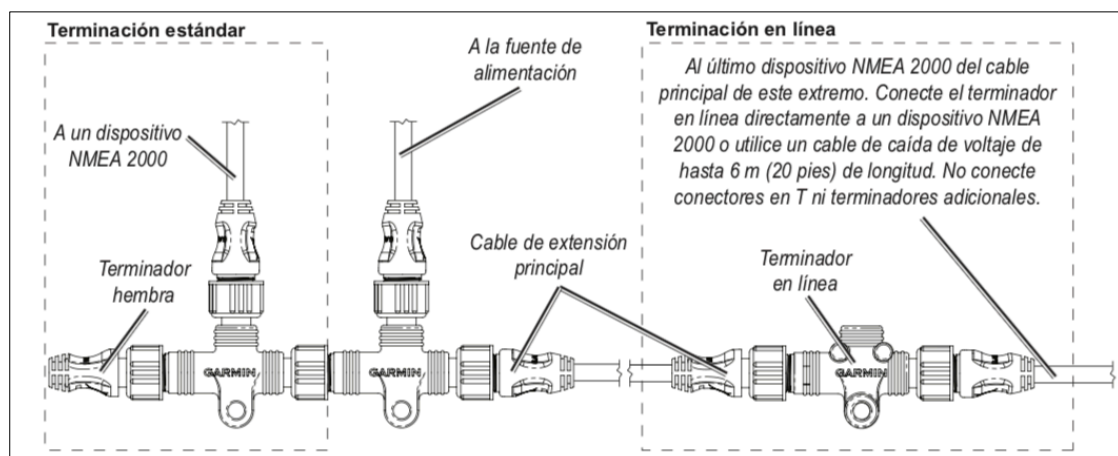


Fig. 31. Ejemplo de terminación de red NMEA 2000 con terminador en línea.

2.3.3 Red NMEA 2000 Bellamente Racing:

En el plano nº1 adjunto denominado “NMEA 2000” se puede observar la configuración y conexionado que se ha decidido usar en la embarcación Bellamente Racing. La red NMEA 2000 generada para esta embarcación en concreto ha sido diseñada muy simplemente con una serie de dispositivos que se usarán de *backup* de los elementos principales descritos con anterioridad, tales como GPS, o compás. Así mismo se han añadido *displays* encargados de comunicar y mostrar los datos de la embarcación en tiempo real a la tripulación a bordo.

Tal y como se puede ver en el plano, los dispositivos NMEA 2000 añadidos a la red son los siguiientemente enumerados, de derecha a izquierda:

- Sensor de profundidad DT800.
- 7 unidades GARMIN GNX 120 *displays*.
- Actisense NGT1 N2K/USB *reader*.
- AIS/SPLITTER CAMINO-108S.
- 6 unidades GARMIN GMI 20 *displays*.
- Compas GARMIN 9-*axis*.
- GPS GARMIN GPS 19x.
- GPS Novatel *Processor*.

De todos los dispositivos anteriormente numerados no todos ellos irán alimentados por la propia red interna NMEA 2000, puesto que tanto el procesador GPS Novatel como el AIS/SPLITTER CAMINO-108S contarán con su propia alimentación, y el Actisense NGT1 N2K/USB únicamente se usará para realizar transmisión y recepción de datos (explicado posteriormente).

Teniendo esto en cuenta quedarán un total de 16 dispositivos que deberán alimentarse con la propia red NMEA2000 (DT800, 7 x GNX 120, 6 x GMI 20, GPS 19x y GARMIN 9-*axis*). Es por ello que se ha tomado la decisión de posicionar la alimentación en el centro de la red, dejando a proa 8 dispositivos (DT800 y 7 x GNX 120 *displays*) y otros 8 dispositivos hacia popa (6 x GMI 20 *displays*, GARMIN 9-*axis* y GPS 19x).

Tomada la decisión de como se van a alimentar los dispositivos y su distribución dentro de la propia red NMEA 2000, se puede distinguir de entre los dispositivos anteriormente descritos tres grandes bloques, dispositivos de transmisión de datos, dispositivos de recepción de datos y dispositivos de transmisión/recepción. Tanto para la transmisión como para la recepción de datos cualquier dispositivo NMEA 2000 cumple con un protocolo de transmisión/recepción donde

todos los datos que se transmiten en una red NMEA 2000 se organizan en grupos. Estos grupos se identifican mediante un número de grupo de parámetro (PGN) que describe el tipo de datos que contiene el grupo. A continuación, se detallan los dispositivos de la red NMEA 2000 de Bellamente Racing que forman los tres grandes bloques, así como, los PGN de los que hace uso cada uno de ellos.

- **Dispositivos de transmisión de datos:**

Básicamente serán los dispositivos que harán de *backup* a los sistemas principales que asegurarán la seguridad del barco en el caso de perder los datos de los equipos principales, estos serán el GARMIN GPS 19x, GARMIN 9-axis, y el sensor de profundidad DT800, este último actuará como sensor de profundidad principal. En el caso de tener una pérdida total de los elementos de navegación principales, la red NMEA 2000 podría seguir funcionando independientemente, y la embarcación podría tener datos de posición, rumbo de aguja y profundidad, asegurando así que la embarcación pudiese volver a tierra sin ningún tipo de problema y sin necesidad de tener datos como el viento, cargas en jarcia, o otros tantos datos *custom* y *performance*. Así mismo, en el caso de fallar individualmente, tanto el GPS como el compás principal se podría hacer uso de estos sistemas de *backup* para operar con normalidad la embarcación en regata.



Fig. 32. Sensor de profundidad DT 800

El sensor DT800 será el encargado de proporcionar datos del estado del agua en cada momento, datos tanto de profundidad, como de temperatura del agua, estos datos son imprescindibles sobretodo en regatas costeras (regatas *inshore*), en las que se debe saber en todo momento la profundidad de la zona en la que se navega, pues por decisiones tácticas estas zonas pueden ser muy cercanas a tierra.

Los PGN que transmitirá el sensor de profundidad DT800 son los siguientes:

PGN	Descripción
59392	ISO Acknowledgement
600928	ISO Address Claim
126208	Acknowledge Group Function
126464	Transmit PGN List Group Function
126996	Product Information
128267	Water Depth (With Transducer Offset)
130310	Environmental Parameters (Water Temperature)
130311	Environmental Parameters (Water Temperature)
130312	Environmental Parameters (Water Temperature)
126464	Received PGN List Group Function



Fig. 33. Compás secundario
GARMIN 9-axis.

EL compás secundario GARMIN 9-axis se ha elegido como compás de repuesto en caso de que el compás principal (Octans) fallase. Este compás también cuenta con un sensor giroscopio integrado con lo que también facilitará datos como *heel*, *pitch* y *roll* descritos en el apartado 2.2.3. Los PGN asociados a este sensor aportarán datos de cabeceo, escora, altitud y rumbo de aguja, todos ellos descritos a continuación.

Los PGN que transmitirá el compás secundario GARMIN 9-axis son los siguientes:

PGN	DESCRIPCIÓN
59392	ISO Acknowledgement
600928	ISO Address Claim
126208	Acknowledge Group Function
126464	Transmit PGN List Group Function
126996	Product Information
127250	Vessel Heading
127251	Rate of Turn
127257	Attitude



Fig. 34. GPS secundario
GARMIN GPS 19x.

EL GPS secundario GARMIN 19x se usará como GPS de repuesto en caso de que el GPS principal (Novatel FlexPack-6) fallase. Tal y como se puede observar en la figura 17, en amarillo, nombrado como GPS 2, este irá situado en el suelo de cubierta. Los PGN asociados a este sensor aportarán datos de posición, velocidad sobre tierra (*Speed Over Ground / SOG*) y rumbo sobre tierra (*Course Over Ground / COG*).

Los PGN que transmitirá el sensor GPS 19x son los siguientes:

PGN	DESCRIPCIÓN
059392	ISO Acknowledgment
060928	ISO Address Claim
126208	NMEA-Command/Request/Acknowledge Group Function

126464	<i>Transmit/Receive PGN List Group Function</i>
126992	<i>System Time and Date</i>
126996	<i>Product Information</i>
129025	<i>Position - Rapid Update</i>
129026	<i>COG & SOG - Rapid Update</i>
129029	<i>GNSS Position Data</i>
129539	<i>GNSS DOPs</i>
129540	<i>GNSS Sats in View</i>

- **Dispositivos de recepción de datos:**

Estos dispositivos son básicamente aquellos que servirán para mostrar la información de todos los datos de los sensores a los regatistas en tiempo real, para que puedan usarlos en la toma tanto de decisiones tácticas, como de trimado de vela o *performance* en todo momento. Se han instalado dos modelos de pantallas o *displays* unos de tamaño mayor GARMIN GNX120, y otros de tamaño menor GARMIN GMI 20. Los *displays* de mayor tamaño se han instalado en el mástil con la finalidad de aportar información a toda la tripulación, mientras que los de menor tamaño se han instalado en diferentes posiciones de la embarcación, tales como, la mesa de cartas para conocer el estado del motor, la posición de los regatistas que triman la jarcia para saber la carga que hay en la misma con datos personalizados, etc...

Estas pantallas se usarán como dispositivo de recepción de datos, siendo así los dispositivos NMEA 2000 que más PGN de entrada deben admitir; aún así, también transmitirán una pequeña cantidad de PGN tales como información del producto, modelo, etc., datos transmitidos en todos los dispositivos NMEA 2000.



Los *displays* GARMIN GMI 20 se instalarán en posiciones estratégicas de la embarcación, gestionando y mostrando datos personalizados al regatista que trabaja cerca de esa zona en la propia embarcación. Una de sus mayores ventajas es su peso reducido y la posibilidad de mostrar varios datos a la vez en la misma pantalla y generar varias páginas de datos a la vez.

Fig. 35. *Display* GARMIN GMI 20.

Los PGN de recepción que admite el *display* GARMIN GMI 20 son los siguientes:

PGN	DESCRIPCIÓN
126992	<i>System Time</i>
127245	<i>Rudder</i>
127250	<i>Vessel Heading</i>
127488	<i>Engine Parameters: Rapid Update</i>

127489	<i>Engine Parameters: Dynamic</i>
127493	<i>Transmission Parameters: Dynamic</i>
127498	<i>Engine Parameters: Static</i>
127505	<i>Fluid Level</i>
127508	<i>Battery Status</i>
128259	<i>Speed: Water Referenced</i>
128267	<i>Water Depth</i>
129025	<i>Position: Rapid Update</i>
129026	<i>COG and SOG: Rapid Update</i>
129029	<i>GNSS position data</i>
129044	<i>Datum</i>
129283	<i>Cross tack error</i>
129284	<i>Navigation Data</i>
129285	<i>Navigation route and waypoint info</i>
129539	<i>GNSS dilution of precision (DOP)</i>
129540	<i>GNSS satellites in view</i>
130306	<i>Wind data</i>
130310	<i>Environmental parameters</i>
130311	<i>Environmental parameters</i>
130312	<i>Temperature</i>
130313	<i>Humidity</i>
130314	<i>Actual Pressure</i>
130576	<i>Small crafts status</i>



Fig. 36 *Display* GARMIN GNX 120.

Los *displays* GARMIN GNX 120 se instalarán en su totalidad en el mástil de la embarcación, gestionando y mostrando que son útiles para todos los miembros del equipo, tales como, dirección de viento, intensidad del viento, rumbo, etc... Sus mayores ventajas son su resolución, calidad de imagen y la posibilidad de mostrar varios datos a la vez en la misma pantalla y generar varias páginas de datos a la vez. Su listado de PGN de recepción es el mismo que el del *display* GARMIN GMI 20.

- **Dispositivos de transmisión/recepción de datos:**

Tres son los equipos que se han añadido en este bloque, el AIS/SPLITTER CAMINO-108S, el GPS Novatel *Processor* (explicado en el punto 2.2.5) y el Actisense NGT1 N2K/USB reader, todos ellos se alimentan por cuenta propia, es decir, el AIS CAMINO 108S y el Novatel *Processor* cuentan con su propia entrada de alimentación y se han añadido a la red NMEA 2000 para poder recoger datos también por este método por si fallase el puerto *ethernet* del Novatel *Processor* o el puerto serie del AIS CAMINO 108S, así como poder transmitir datos a los mismos dispositivos con la finalidad de temas de configuración de los mismos. Mientras que, el Actisense NGT1 N2K/USB *reader*, se alimenta por el puerto USB que se conectará al procesador C6015-0010 (véase figura 3). Este último es la pieza clave encargada de la comunicación entre la red NMEA 2000 y el resto del sistema, puesto que es el dispositivo que se encarga de “traducir” las sentencias NMEA 2000 a sentencias que recoge el procesador.

Dado que en el punto 2.2.5 se ha profundizado en el funcionamiento del procesador del GPS Novatel FlexPack-6, a continuación, se detalla en funcionamiento de los otros dos dispositivos que realizan una función de transmisión/recepción en la red NMEA 2000.



Fig. 37. Actisense NGT1 N2K/USB reader.

Tal y como se ha descrito con anterioridad el dispositivo que se puede ver en la figura 37 el Actisense NGT1 N2K/USB *reader* cuenta con dos cables que se unen en una PCB encapsulada. Uno de ellos cuenta con un conector M12 que se conecta directamente a un conector en T añadiéndose a la red NMEA 2000, mientras que por otra parte el otro cable USB se conectará a uno de los puertos USB del procesador C6015-0010 con el que se recogerán los PGN de la red NMEA 2000 y se mandarán sentencias de configuración a la misma. El propio Actisense NGT1 cuenta con un *software* de configuración que se ha instalado en el C6015-0010 *Ultra Compact Industrial PC*, denominado ACTISENSE *NMEA Reader*, una vez instalados los correspondientes *Drivers* este permite ver los dispositivos que hay conectados en la red, así como seleccionar los PGN que se pueden recoger y mandar a la red NMEA 2000.

Por la parte del *Hardware* del mismo, en la figura 38 se puede ver como se interconecta la parte de la red CAN NMEA 2000, con los pines del conector USB.

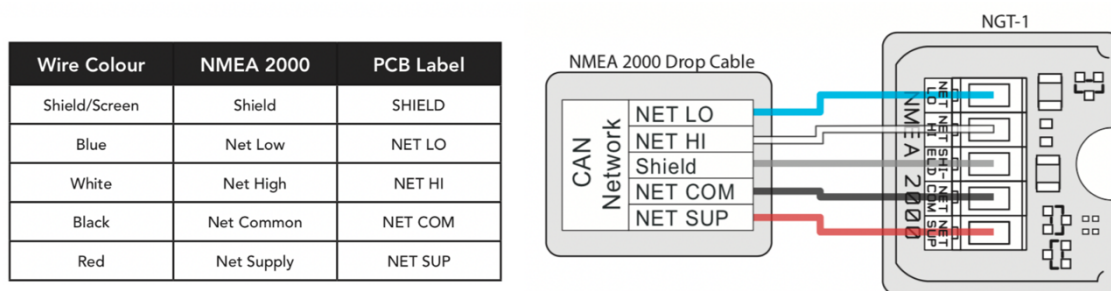


Fig. 38. Conexión NMEA 2000/USB NGT-1.

Por otra parte, el dispositivo AIS CAMINO 108S es obligatorio por normativa en cualquier tipo de embarcación que vaya a competir en regatas *offshore*. Estos dispositivos de sistema de identificación automática (AIS: *Automatic Identification System*) sirven para permitir a los buques y embarcaciones comunicar su posición y otras informaciones relevantes para que otros buques, embarcaciones o estaciones puedan conocerla y evitar colisiones.

En este caso se ha hecho uso de un AIS clase B, los transceptores de clase B son más pequeños, más simples y de menor costo que los transceptores de clase A. Cada uno consta de un transmisor VHF, dos receptores de acceso múltiple por división de tiempo con detección de portadora VHF (CSTDMA), ambos alternando como el receptor de Llamada selectiva digital (DSC) y una antena activa de GPS. Aunque el formato de salida de datos admite información de rumbo, en general las unidades no están interconectadas con un compás magnético ni girocompás, por lo que estos datos rara vez se transmiten. La salida es el flujo de datos AIS estándar a 38.400 kbit/s, como formatos NMEA mediante interfaz RS232. Para evitar la sobrecarga del ancho de banda disponible, la potencia de transmisión se limita a 2 W, lo que da un rango de aproximadamente 5 a 10 millas (9,26 km a 18,52 km). [13]

En este caso el AIS CAMINO 108S cuenta con salida de datos RS232, así como NMEA2000, haciendo uso de ambas también hace la funcionalidad de SPLITTER, funcionalidad que nos permite conectar VHF y AIS conjuntamente, por lo que introduciendo el MMSI (Número de Identificación del Servicio Móvil Marítimo) asignado a la embarcación en el VHF se recogerá también en el AIS. Todas estas informaciones servirán tanto para mandar la posición de la embarcación a otras embarcaciones, así como recoger la posición de otras embarcaciones y mostrarlas en una carta náutica en el software de navegación que se hace uso durante una regata.



Fig. 39. AIS/SPLITTER CAMINO-108S.

2.4 Comunicaciones y Redes.

2.4.1 Introducción.

El sistema de comunicaciones se puede dividir en dos grandes bloques, las comunicaciones entre dispositivos dentro de la propia embarcación y las comunicaciones que se transmitirán entre la propia embarcación y una embarcación supletoria donde únicamente se recibirán datos en tiempo real con la finalidad de que el entrenador, diseñador de velas o analistas de datos tengan acceso al *performance* del barco sin interferir en los propios equipos, única y exclusivamente a modo de visualización.

En el plano nº1 adjunto denominado “Network Infrastructure” se puede apreciar claramente esta división entre los de datos de la embarcación (*Yacht Data*) y los datos de la embarcación supletoria (*Tender Data*). Para ello se ha procedido a generar una red local interna dentro de la propia embarcación con un *router* principal que proporcionará accesos a internet, así como asignación de IP mediante DHCP a aquellos dispositivos que no cuenten con una IP fijamente establecida. Posteriormente se ha colocado un punto de acceso en la embarcación supletoria al que se accederá mediante una de las antenas wifi instaladas en la embarcación principal. En los siguientes puntos se explican la generación de la red local a bordo y la comunicación entre embarcaciones.

2.4.2 Red Local Bellamente Racing:

Puesto que en la red que se generará en la embarcación de regatas no hay una gran cantidad de dispositivos conectados en modo de red de área local, se ha tomado la decisión de hacer uso de un *router* principal que será el encargado de otorgar los accesos a internet, así como direcciones IP y generar la red wifi a bordo del barco. El *router* elegido ha sido el Teltonika RUT950, además se han añadido dos *routers* que actuarán únicamente en modo pasivo o modo *bridge* para interconectar e introducir los demás dispositivos a la red, siendo estas dos unidades de Mikrotik RB750UPr2. La siguiente figura muestra la idea básica de interconexión entre estos dispositivos.

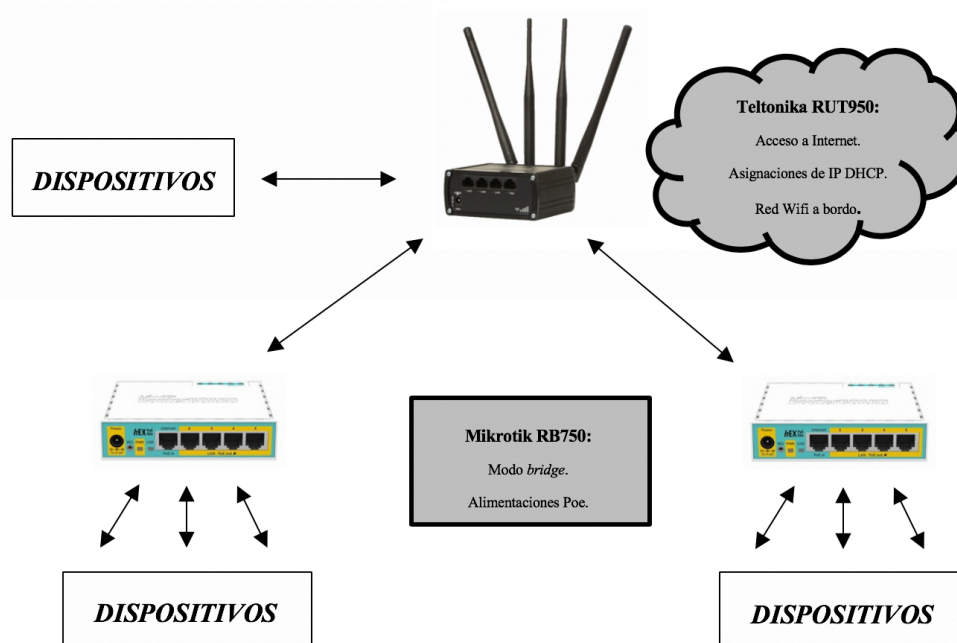


Fig. 40. Diagrama básico red local Bellamente Racing.

Dado que el RUT950 ha sido el pilar sobre el que se construye la red local, se procede a continuación a definir su funcionalidad específica dentro de la misma, así como las distintas ventajas que ofrece este *router* a la hora de decidirse por él.

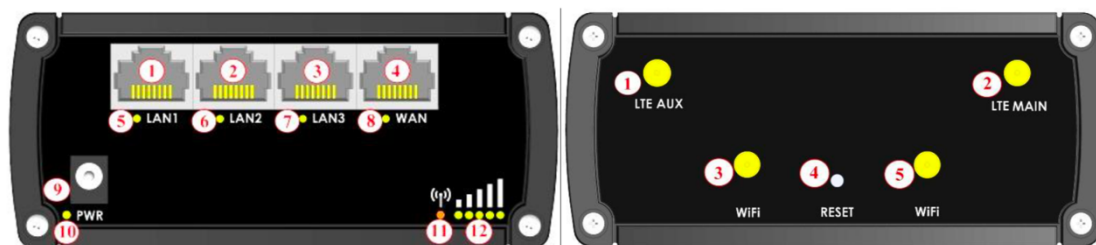


Fig. 41. Puertos de conexión RUT950.

El RUT950 cuenta con tres puertos LAN (1, 2, 3 izquierda) y un puerto WAN (4 izquierda), a los puertos LAN se han conectado dispositivos cercanos a la instalación del propio *router* que se han querido añadir a la red local, siendo estos el *bullet* (dispositivo utilizado para comunicación de telemetría con la embarcación supletoria, explicado posteriormente), el procesador GPS de NovaTel, y, uno de los puertos LAN se ha usado para intercomunicar con el otro *router switch* de Mikrotik.

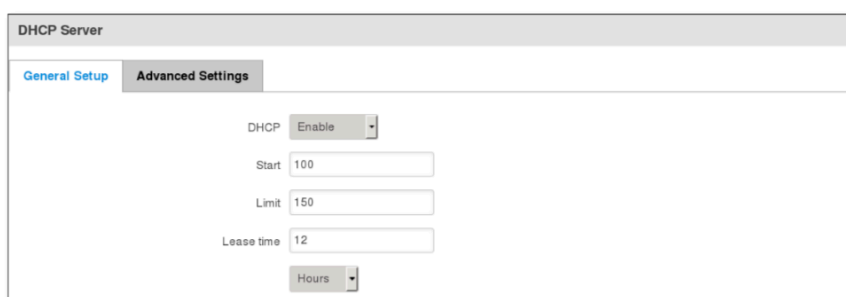
Este *router* cuenta con la posibilidad de tener acceso a internet mediante la instalación de dos tarjetas SIM en su interior que mediante el conexionado de dos antenas LTE nos proporcionarán la señal móvil (1 y 2 derecha), en este caso conectando a la entrada LTE MAIN la Spartan Antenna 3in1 MA.605 (véase punto 2.2.5). Esta será una de las maneras de obtener internet a bordo, siempre que la embarcación se encuentre en zonas cercanas a costa y que cuenten con cobertura de telefonía móvil, para los demás casos que se requiera de internet a bordo se hará uso del SAILOR 250 FleetBroadband (véase punto 2.2.6), que conectado al puerto WAN permitirá el cambio automático de fuente de acceso a internet en cuanto se pierda la cobertura de telefonía móvil obtenida mediante las compañías de la tarjeta SIM. El WAN le permite al *router* conectarse a Internet y compartir esa conexión con todos los dispositivos preparados para Ethernet conectados a él. Siendo el *router* principal que otorgará accesos a internet será el configurado como fuente de DNS, el sistema de nombres de dominio (*Domain Name System*, por sus siglas en inglés) es un sistema de nomenclatura jerárquico descentralizado para dispositivos conectados a redes IP como Internet o una red privada. Este sistema asocia información variada con nombre de dominio asignado a cada uno de los participantes. Su función más importante es "traducir" nombres inteligibles para las personas en identificadores binarios asociados con los equipos conectados a la red, esto con el propósito de poder localizar y direccionar estos equipos mundialmente. [14]

La asignación de nombres a direcciones IP es ciertamente la función más conocida de los protocolos DNS. Por ejemplo, si la dirección IP del sitio Google es 216.58.210.163, la mayoría de la gente llega a este equipo especificando `www.google.com` y no la dirección IP. Además de ser más fácil de recordar, el nombre es más fiable. [15]

Al RUT950 se le ha asignado la dirección IP fija 192.168.10.254 con una máscara de red 255.255.255.0, es por ello que todos los dispositivos que cuenten con una dirección IP fija predefinida apuntarán a esa dirección IP como principal fuente de DNS dentro de la red local.

Siendo este el *router* principal también será el encargado de operar como servidor DHCP, asignando así direcciones IP a las posibles tabletas o dispositivos móviles que quieran acceder a la red sin una previa dirección IP preasignada.

DHCP, del inglés *Dynamic Host Configuration Protocol*, es decir, protocolo de configuración dinámica de host. Se trata de un protocolo de red tipo cliente / servidor que se encarga de asignar direcciones IP de forma dinámica; pero también otros parámetros relativos a la configuración de red, a todos y cada uno de los dispositivos que estén conectado. Esto es lo que permite que puedan comunicarse con otras redes IP; y la gestión inteligente se lleva a cabo gracias al servidor DHCP, que cuenta con una lista de direcciones IP dinámicas para poder ir asignándoselas a los clientes a medida que van quedando libres, y considerando siempre cuánto tiempo la tienen, qué cliente la tiene y a cuál se le ha asignado a posteriori. [16]



	Field Name	Sample value	Explanation
1.	DHCP	Enable/Disable	Manage DHCP server
2.	Start	100	The starting address of the range that the DHCP server can use to give out to devices. E.g.: if your LAN IP is 192.168.2.1 and your subnet mask is 255.255.255.0 that means that in your network a valid IP address has to be in the range of [192.168.2.1 – 192.168.2.254](192.168.2.0 and 192.168.2.255 are special unavailable addresses). If the Start value is set to 100 then the DHCP server will only be able to lease out addresses starting from 192.168.2.100
3.	Limit	150	How many addresses the DHCP server gets to lease out. Continuing on the above example: if the start address is 192.168.2.100 then the end address will be 192.168.2.254 (100 + 150 – 1 = 254).
4.	Lease time	12	How long can a leased IP be considered valid. An IP address after the specified amount of time will expire and the device that leased it out will have to request for a new one. Select Hour or Minute (minimum 2min).

Fig. 42. Configuración DHCP en el RUT950.

En la figura 42 puede verse el software de configuración que nos permite establecer los límites de la asignación de direcciones IP en la habilitación del DHCP, pudiendo establecer así si se activa o desactiva la funcionalidad del servidor DHCP, en que dirección se empezarán a asignar las direcciones IP en función de la máscara de subred elegida, y el límite hasta donde se pueden asignar dichas direcciones IP, dejando así un conjunto de direcciones IP reservadas a los dispositivos que se vayan uniendo a la red con una obtención de dirección de IP dinámica en lugar de manual. En el caso de la red Bellamente Racing se han reservado las direcciones IP comprendidas del 192.168.10.100 al 192.168.10.150 usando siempre una máscara de subred de 255.255.255.0. Todas estas configuraciones son posibles dado la facilidad que ofrece el *software* del propio *router* accediendo a su dirección IP una vez establecida su dirección IP fija, esta y muchas mas configuraciones son posibles, tales como limites de datos de consumo de la SIM, *firewall*, bloqueos por MAC *adress*, etc...



Otra de las funcionalidades del *router* principal será la de la generación de una red wifi de 2.4GHz, esta red wifi será la transmitida por la antena Spartan 3in, explicada con anterioridad y colocada en el exterior de la embarcación. Esta red a la que se le asignará el SSID “Bellamente72”, se utilizará básicamente para que el navegante, o persona encargada de dirigir la navegación durante una regata, pueda tener acceso a la red de área local mediante una tableta, y, poder así acceder al ordenador de navegación mediante un programa de escritorio remoto como *Splashtop* o *Microsoft Remote Display*. Teniendo una conexión remota con este ordenador el regatista podrá manejar el *software* de navegación instalado en el mismo, que le indicará posiciones de boya, tiempos a la boya, predefinir rutas, etc... Algunos ejemplos de estos *software* de navegación son *Dekman for Windows* (DFW), *Expedition* o *Adrena*.

La conectividad con el resto de la red se ha conseguido con el conexionado de RUT950, con uno de los Mikrotik RB750UPr2, estos dispositivos son configurables y programables mediante una asignación de dirección IP fija, en este caso se le ha asignado al primer Mikrotik RB750UPr2 (izquierda del plano *Network Infrastructure*) la dirección 192.168.10.200, con máscara de subred 255.255.255.0, y al segundo dispositivo Mikrotik RB750UPr2 (derecha del plano *Network Infrastructure*) la dirección 192.168.10.201 con máscara de subred 255.255.255.0. A ellos se han conectado del resto de dispositivos, a los que también se les ha asignado una dirección IP fija, con la finalidad de poder acceder a ellos siempre sin necesidad de tener que averiguar que IP les ha asignado el RUT950. Por lo que, a los tres principales *routers* dentro de la red, se les han conectado los dispositivos listados a continuación:

Teltonika RUT950 (IP: 192.168.10.254 / Mask: 255.255.255.0):

- NovAtel FlexPak-6 (IP: 192.168.10.30 / Mask: 255.255.255.0).
- Bullet Mikrotik GrooveA 52HPn (IP: 192.168.10.252 / Mask: 255.255.255.0).
- Mikrotik RB750UPr2 1 (IP: 192.168.10.200 / Mask: 255.255.255.0).

Mikrotik RB750UPr2 1 (IP: 192.168.10.200 / Mask: 255.255.255.0):

- Cameras FitPC (IP: 192.168.10.5 / Mask: 255.255.255.0).
- FBB 250 Processor (IP: 192.168.10.250 / Mask: 255.255.255.0).
- Gyro Spare Sensor (IP: 192.168.10.249 / Mask: 255.255.255.0).
- Teltonika RUT950 (IP: 192.168.10.254 / Mask: 255.255.255.0).
- Mikrotik RB750UPr2 2 (IP: 192.168.10.201 / Mask: 255.255.255.0).

Mikrotik RB750UPr2 2 (IP: 192.168.10.201 / Mask: 255.255.255.0):

- Toughbook CFD Nav PC (IP: 192.168.10.1 / Mask: 255.255.255.0).
- C6015-0010 PC (IP: 192.168.10.10 / Mask: 255.255.255.0).
- PLC system (IP: 192.168.10.11 / Mask: 255.255.255.0).
- Octans Compass (IP: 192.168.10.128 / Mask: 255.255.255.0).
- Mikrotik RB750UPr2 1 (IP: 192.168.10.200 / Mask: 255.255.255.0).

Esta disposición de direcciones IP permite, que desde el ordenador de navegación (Toughbook CFD Nav PC), se pueda acceder a todos los dispositivos incluidos en la red de área local con la finalidad de configuración de los mismos como la revisión del estado de ellos.

2.4.3 Comunicaciones con embarcación supletoria.

Como apoyo a la embarcación principal, la comunicación con una embarcación supletoria es necesaria a la hora de optimizar el *performance* de la embarcación al máximo, es por ello que una red de comunicación directa entre embarcación principal y supletoria es la clave de todo equipo profesional de regatas.

La gran ventaja de la comunicación entre embarcaciones en comparación a la comunicación entre otros puntos de acceso como edificios o construcciones, es la gran directividad entre sistema de transmisión y sistema de recepción. En mar abierto los principales obstáculos que se van a encontrar serán el resto de embarcaciones dentro de la misma regata, que mediante el uso de velas de carbono (muy usadas en la actualidad) pueden producir un apantallamiento de la señal entre dispositivos. Dadas las condiciones de transmisión se ha tomado la decisión de hacer uso de los dispositivos GrooveA 52HPn dentro de una gran gama que ofrece la casa Mikrotik, estos ofrecen una gran variedad de configuraciones que explicaremos a continuación.



Fig. 43. Bullet Mikrotik GrooveA 52HPn.

La gran versatilidad a la hora de configuración que ofrece este producto, su reducido tamaño y resistencia al agua son los puntos clave que han decantado la balanza para usar este dispositivo. Uno de ellos irá instalado en la embarcación principal y otro en la embarcación supletoria.

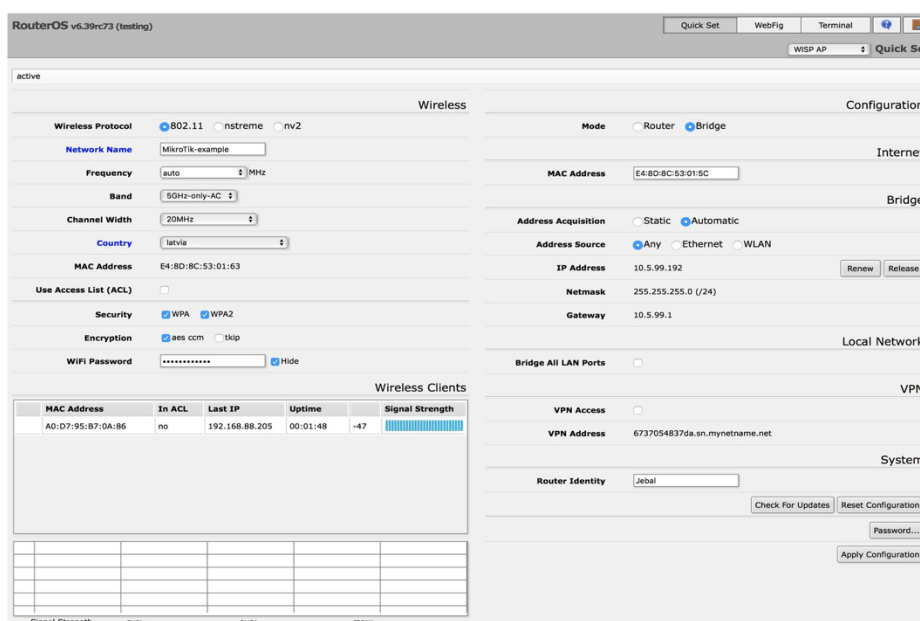


Fig. 44. Interfaz de configuración GrooveA 52HPn.

En la figura 44 se puede observar el interfaz de configuración del dispositivo GrooveA 52HPn, observando la esquina superior derecha al lado de “Quik Set” se sitúa el modo de selección de configuración que se le va a aplicar al equipo, en función de cual seleccionemos las el dispositivo se comportará de una manera u otra, el listado de configuraciones es el que sigue a continuación:

- **CAP:** Punto de acceso controlado, un dispositivo AP (*Access Point* o punto de acceso), que será administrado por un servidor CAPsMAN centralizado. Es aconsejable su uso solo si ya se ha configurado un servidor CAPsMAN anteriormente.
- **CPE:** Dispositivo cliente, que se conectará a un dispositivo de punto de acceso (AP). Proporciona la opción de buscar dispositivos AP en su área. También conocido como modo *station*.
- **HomeAP:** La página de configuración del punto de acceso predeterminado para la mayoría de los usuarios domésticos. Proporciona menos opciones y terminología simplificada.
- **HomeAP dual:** Dispositivos de doble banda (2GHz / 5GHz). La página de configuración predeterminada de Access Point para la mayoría de los usuarios domésticos. Proporciona menos opciones y terminología simplificada.
- **Home Mesh:** Creado para hacer redes WiFi más grandes. Habilita el servidor CAPsMAN en el enrutador y coloca las interfaces WiFi locales bajo el control CAPsMAN. Simplemente deberían iniciarse otros AP WiFi MikroTik con el botón de reinicio presionado, y se unirían a esta red HomeMesh.
- **PTP Bridge AP:** Utilizado cuando se necesite interconectar de forma transparente dos ubicaciones remotas en la misma red, se debería configurar un dispositivo en este modo y el otro dispositivo en el siguiente (PTP Bridge CPE).
- **PTP Bridge CPE:** Usado cuando se necesite interconectar de forma transparente dos ubicaciones remotas en la misma red, debería configurarse un dispositivo en este modo y el otro dispositivo en el modo anterior (PTP Bridge AP).
- **WISP AP:** Similar al modo HomeAP, pero proporciona opciones más avanzadas y utiliza terminología estándar de la industria, como SSID y WPA.

Para este proyecto en concreto se ha tomado la decisión de configurar el Bullet Mikrotik GrooveA 52HPn de la embarcación principal como CPE (*station*), esto permitirá la conectividad con el dispositivo Bullet Mikrotik GrooveA 52HPn situado en la embarcación supletoria configurado como WISP AP. Con esta configuración se consigue generar un punto de acceso o red wifi visible dentro de la propia embarcación supletoria denominada “Bellamente_Telemetry” a la que accederán los dispositivos que naveguen en ella, mientras que en la embarcación principal, al estar configurado como CPE no se hará visible ninguna red wifi, sin embargo, permitirá hacer un escaneo de las redes que hay en el área, y mediante la selección del AP “Bellamente_Telemetry” se establecerá la conexión entre ambas embarcaciones.

En otros proyectos también se podría configurar de la forma inversa, es decir, configurar el Bullet Mikrotik GrooveA 52HPn de la embarcación principal como WISP AP y el de la embarcación supletoria como CPE, otorgando así una red wifi de repuesto al navegante en caso de perder la red wifi principal. Esta situación genera un problema, pues deja a la embarcación supletoria sin un punto de acceso dentro de la misma. Esto se podría solucionar conectando al Bullet Mikrotik GrooveA 52HPn de la embarcación supletoria otro *router* del estilo del RUT950 para generar la propia red wifi de la embarcación supletoria.

Una vez configurados los Bullet Mikrotik GrooveA 52HPn en ambas embarcaciones se les asignará una dirección IP fija que permitirá así trabajar a todos los dispositivos (tanto de la embarcación principal como de la supletoria) dentro de la misma red de área local.

En la embarcación supletoria se conectarán varias tabletas y dispositivos móviles con la finalidad de obtener datos en tiempo real de la embarcación, pero habrá dos tabletas que serán fijas para dos usos distintos. Una de ellas realizará una sesión de escritorio remoto con el ordenador de las cámaras (Cameras FitPC), en el que irá instalado el *software* que permitirá ver al diseñador de velas como están trimadas las velas en cada momento. En la otra tableta irá instalado un *software* de muestreo de datos, que funcionará bajo un protocolo UDP, en él se configurará un puerto UDP que también se configurará en el ordenador de navegación, permitiendo así la transmisión de datos tales como velocidad de la embarcación, velocidad y dirección de viento, ángulo de timón, cabeceo y escora y otros. Todo esto facilitará tanto al entrenador como a los analistas de datos el poder tomar notas, para un posterior análisis con la tripulación a su llegada a tierra.

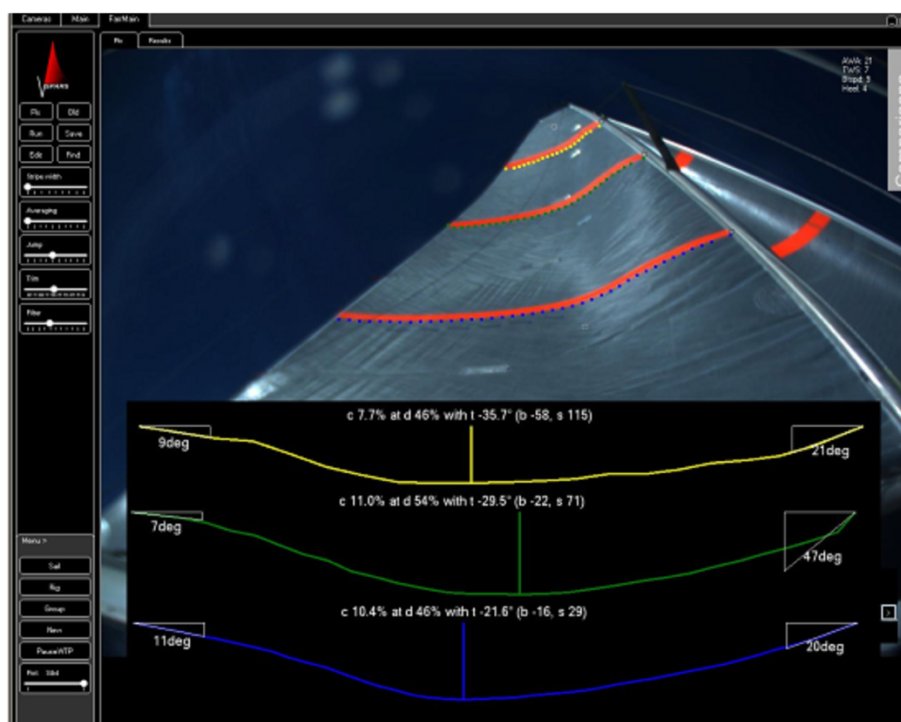


Fig. 45. Ejemplo de *software* de trimado de velas en tiempo real.



Capítulo 3. Conclusiones.

Como conclusión se puede decir que en este proyecto se han aplicado los conocimientos adquiridos en las asignaturas cursadas durante la titulación del Grado de Sistemas y Servicios de Telecomunicación.

Se ha realizado el diseño y la implantación de una red real de sensores, y un sistema de comunicación entre ellos y los tripulantes de una embarcación de Vela de Alta Competición; que les permitirá mejorar sus resultados y analizar sus actuaciones en entrenamientos y competiciones en tiempo real.

De entre las diferentes especializaciones de la titulación se han aplicado un conjunto de conocimientos de la rama de telemática, sistemas de telecomunicaciones, electrónica y una pequeña parte de sonido e imagen. Los principales puntos que unían estos campos diversos han sido:

- ***En la rama de sistemas de telecomunicación:***
Apartados como las comunicaciones vía satélite, radiación y ganancias de antenas, tanto de sistemas de posicionamiento GPS como de señales Wifi o telefonía móvil 4G.
- ***En la rama de telemática:***
Se ha diseñado una red interna local que ha permitido intercomunicar los distintos dispositivos a bordo de la embarcación principal y supletoria, haciendo un estudio en profundidad de las direcciones IP, puertos LAN y WAN, servidor DHCP y distintos dispositivos capaces de gestionar ese flujo de información.
- ***En la rama de electrónica:***
El conjunto de sensores que se han añadido a la embarcación tales como sensores magnéticos, lineales, así como su propio funcionamiento interno y conexasión con el resto del circuito han supuesto hacer uso de los conocimientos adquiridos en esta especialización cursada.
- ***En la rama de sonido e imagen:***
El estudio de asignaturas optativas cursadas como tratamiento digital de la imagen, han facilitado la comprensión de aspectos de softwares como el del visionado de las velas en tiempo real.

Independientemente de todos los conocimientos adquiridos en la titulación, los aspectos más importantes a la hora de hacer frente a un proyecto de tal magnitud, han sido conocimientos adquiridos de índole personal, los que ayudan al alumno a estructurar pensamientos o capacidades resolutivas a la hora de enfrentar un problema que surja dentro del mismo. Aspectos como la priorización y toma de decisiones también han sido de los mejores conocimientos adquiridos durante el proyecto y en el transcurso de los años de la titulación.



Capítulo 4. Presupuesto.

Ítem y descripción	Cdad.	Precio/ud	Precio
1 Processor Intel® Atom™ E3827, 1.75 GHz, 2 cores, 4GB RAM, 30GB M.2 SSD	1	11.452,00	11.452,00
2 EtherCAT Coupler EK1100	1	206,00	206,00
3 RS232 to B&G Fastnet converter terminal FRB&G	1	206,00	206,00
4 Serial interface RS422/RS485 EL6021	1	379,00	379,00
5 General purpose pulse terminal FRPLS	1	145,00	145,00
6 Signet paddlewheel sensor terminal FRSGN	1	145,00	145,00
7 2-channel, up/down counter, 24 V DC, 1 kHz, 16bit EL1512	1	122,00	122,00
8 4-channel analog input terminal 0...10 V, single-ended, 16 bit, 4 x 2-wire system EL3164	1	390,00	390,00
9 4-channel analog input terminal 0...10 V, single-ended, 12 bit, 4 x 2-wire system EL3064	1	256,00	256,00
10 5-channel input, potentiometer measurement with sensor supply EL3255	1	291,00	291,00
11 8-channel analog input terminal 0...10 V, single-ended, 12 bit, 1-wire system EL3068	1	347,00	347,00
12 1-channel resistor bridge terminal (strain gauge) EL3351	5	312,00	1.560,00
13 8-channel digital output terminal 24 V DC, 2 A, total current 10 A, 2-wire system EL2828	3	146,00	438,00
14 8-channel digital input terminal 24 V DC, filter 3.0 ms, 2-wire system EL1808	2	81,00	162,00
15 4-channel relay output terminal 125 V AC/30 V DC, 0.5 A AC/2 A DC, EL2624	2	76,00	152,00
16 CANopen master terminal EL6751	1	661,00	661,00
17 EtherCAT End Bus EL9011	2	6,00	12,00



18 Faro License for N2K FARO-N2K	1	500,00	500,00
19 Actisense N2K Gateway NGT-1 ISO	1	175,00	175,00
20 Garmin Display GNX™ 120 7" 010-01395-00	10	742,98	7.429,80
21 Garmin Display GMI™ 20 010-01140-00	5	470,25	2.351,25
22 GPS 19x NMEA 2000® (Spare GPS) 010-01010-10	1	197,52	197,52
23 Garmin 9-Axis Compass N2K (Spare compass) 010-11417-20	1	701,65	701,65
24 B&G VERTICAL MASTHEAD VMHU 1450mm BGH031003	2	2.569,00	5.138,00
25 DT800,Plastic, 3m (9.6 ft cable) Zero degree tilted 44-198-3-01	1	328,90	328,90
26 TE Stringpot sensor SM2-12	2	230,00	460,00
27 TE Stringpot sensor SM2-25	5	230,00	1.150,00
28 Honeywell Position Sensors 100 Deg Arc Sensor (Rudder angle) SPS-A100D-HAMS	1	260,00	260,00
29 FLEX6-GPS+GLONASS, L1/L2, SBAS, DGPS, GLIDE, 20Hz Measurements, 20 Hz Positions	1	6.000,00	6.000,00
30 Octans	1	60.000,00	60.000,00
31 Mikrotik GrooveA 52 ac (Router OS L4) with case, International version (EU) MKT-RBGrooveGA-52HPn	1	115,69	115,69
32 Next generation class B AIS transponder / VHF Splitter (All in One) CAMINO-I08S	1	755,00	755,00
33 LTE - Wireless router Chase boat Wi-Fi + LTE if needed RUT950	1	220,00	220,00
TOTAL MATERIALES:			102.706,8 €
34 Installation material	1	5.000,00	5.000,00
35 Labour costs	1	30.000,00	30.000,00
TOTAL MANO DE OBRA:			35.000 €
TOTAL			137.706,81€



Capítulo 5. Bibliografía:

- [1] Faro Advanced Systems: <http://faroadv.com>
- [2] Installation and Operating instructions for C6015-0010 Ultra compact Industrial PC: <https://infosys.beckhoff.com/content/1033/ipcinfosys/PDF/C6015-0010.pdf>
- [3] Octans Compass: <https://www.ixblue.com/products/octans>
- [4] SAW Surface Acoustic Wave: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_acoustic_wave
- [5] Low noise filter: https://en.wikipedia.org/wiki/Low-noise_amplifier
- [6] Hoja de datos de Spartan Antenna 3in1 MA.605: <https://www.taoglas.com/product/spartan-ma605-3in1-permanent-mount-gpsglonass-2g3g-wifi-with-isolation-2/>
- [7] Normativa AIS/GPS: https://webstore.iec.ch/p-preview/info_iec62287-1%7Bed2.0%7Den.pdf
- [8] Canales de frecuencias GPS: <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=350>
- [9] NMEA 2000 1: <http://boatprojects.blogspot.com.es/2012/12/beginners-guide-to-nmea-2000-nmea-0183.html>
- [10] NMEA 2000 2: <https://www.powerandmotoryacht.com/electronics/breakdown-protocol-how-boats-systems-converse>
- [11] NMEA 2000 3: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00228a.pdf>
- [12] NMEA 2000 4: <http://www.ti.com/lit/an/slla337/slla337.pdf>
- [13] AIS tipo B: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Identificación_Automática#AIS_Clase_B



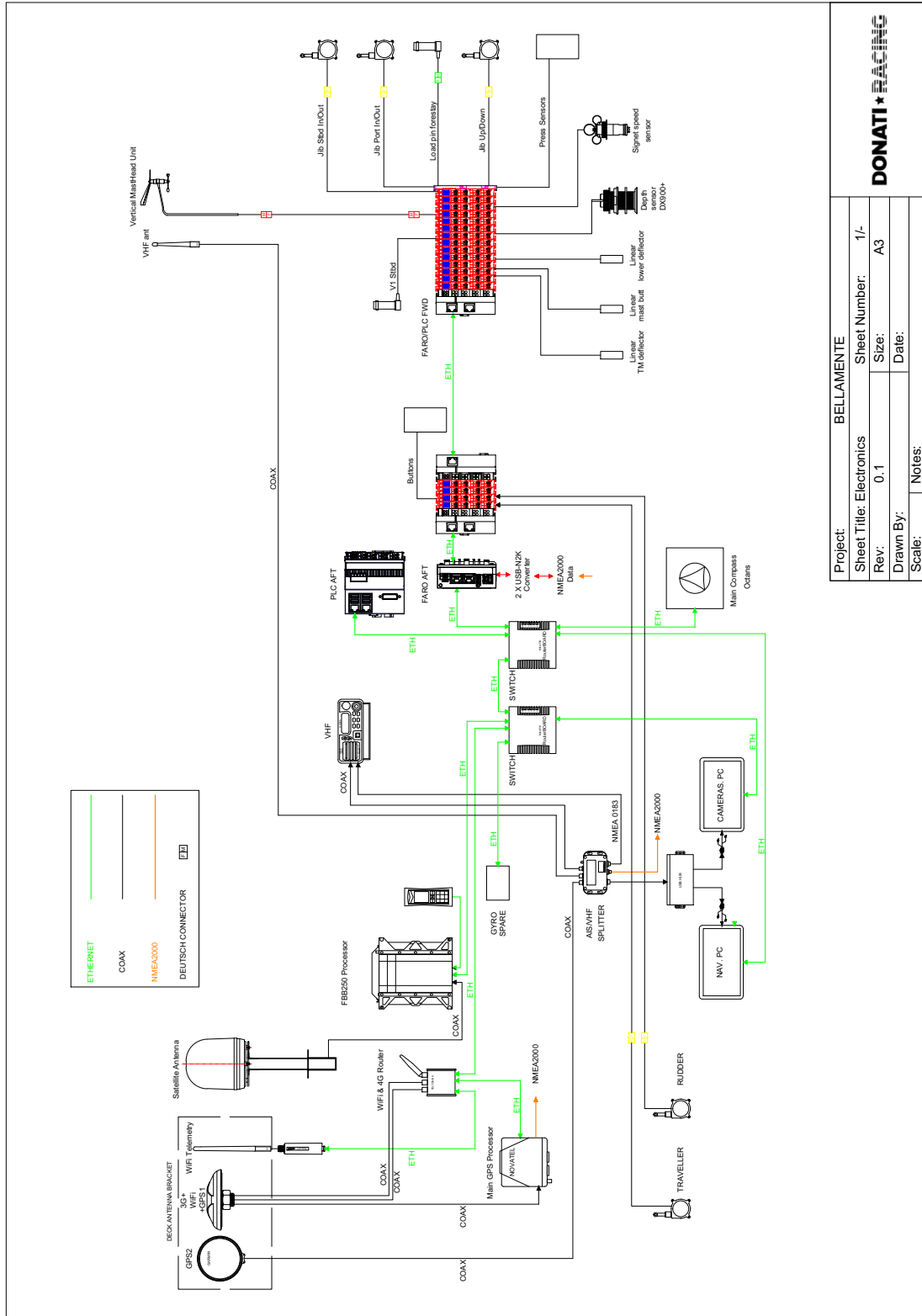
[14] DNS: <https://web.archive.org/web/20180716160714/https://progresser-en-informatique.com/formation/internet/comment-fonctionne-internet/>

[15] DNS 2: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_nombres_de_dominio#cite_note-2

[16] DHCP: <https://www.adslzone.net/como-se-hace/wifi/activar-dhcp/>

Capítulo 6. Anexos

6.1 Planos.



Project: BELLAMENTE	
Sheet Title: Electronics	Sheet Number: 1/-
Rev: 0.1	Size: A3
Drawn By:	Date:
Scale:	Notes:

DONATI ELECTRONICS

