

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Trabajo Fin de Grado

Diseño e implementación de un sistema de radiocomunicaciones
para la transmisión de la telemetría de un barco autónomo.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

AUTOR: Alejandro González Redel

DIRECTOR: José María Molina García-Pardo

CODIRECTOR: Antonio Mateo Aroca

Enero / 2019

Autor	Alejandro González Redel
E-Mail	Alejandrogonzalezredel96@gmail.com
Director	José María Molina García-Pardo
E-Mail	Josemaria.molina@upct.es
Título del TFG	Implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de un barco autónomo.
<p><i>Resumen:</i></p> <p>The Microtransat Challenge es una competición amistosa que consiste en una carrera transatlántica en la que participan embarcaciones autónomas.</p> <p>Este proyecto se enmarca dentro de un trabajo multidisciplinar que parte de la recopilación de los datos de la telemetría en una placa situada en el barco autónomo, que se transmiten vía radio y que posteriormente, se muestran a través de un software desarrollada específicamente para este propósito.</p> <p>El objetivo principal del proyecto es diseñar e implementar un barco autónomo, centrándose este proyecto en la configuración del sistema de transmisión de datos. Para este fin, se va diseñar un sistema de transmisión de datos bidireccional para que los datos recogidos por los sensores se envíen automáticamente para ser guardados y representados.</p> <p>Para la creación del canal de comunicación vamos a usar tres tecnologías diferentes: Wifi, la red pública y una red privada.</p>	
Titulación	Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación
Departamento	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Presentación	Enero/ 2019

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo significa el fin de una etapa, la cual me gustaría cerrar agradeciendo a mis padres M^a Ángeles Redel Macías y José Ramón González García por todo su esfuerzo durante mi etapa de estudiante tanto económicamente como emocionalmente aguantándome en estresantes épocas de examen. A mi hermana Irene y su marido José Ángel por estar siempre ahí cuando los he necesitado y a mi novia Marina la que espero que siga acompañándome toda la vida. También agradecer a mi director de proyecto José María Molina toda su confianza hasta en los momentos difíciles, en los que creíamos que no íbamos terminar nunca porque las cosas no funcionaban.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Motivación.....	11
1.2. Objetivos	11
1.3. Fases del proyecto.....	12
1.4. Estructura de la memoria	13
2. ESTADO DEL ARTE	14
2.1. Introducción a la telemetría.....	14
2.2. Origen y evolución de la telemetría.....	15
2.3. Aplicaciones de la telemetría.....	17
2.4. Sistema de Telemetría usado en el equipo MotoUPCT.....	20
2.5. Telemetría en embarcaciones.....	22
2.5.1. Ejemplos de telemetría en embarcaciones.....	22
3. Proyecto VNAS	25
3.1. Escenario de aplicación.....	26
3.2. Esquema global del sistema	26
3.3. Material utilizado.	27
3.3.1. Sensores, cables y software.	27
3.3.2. Modem 3G	34
3.3.3. Instrumento de radio comunicaciones CMW500 de Rohde & Schwarz	35
4. Implementación de las comunicaciones VNAS	39
4.1. Software desarrollado para el envío de información.	39
4.2. Establecimiento de la comunicación inalámbrica mediante red wifi.	39
4.3. Establecimiento de la comunicación inalámbrica mediante red pública 3G.	40
4.4. Establecimiento de la comunicación inalámbrica mediante red privada GSM con CMW500.	42
5. Resultados	51
6. Conclusiones y líneas futuras	54
6.1. Conclusiones.....	54
6.2. Líneas futuras.....	54
BIBLIOGRAFÍA	56
Anexo	58
A.1. Modos de funcionamiento del R&S CMW500.	58
A.2. Funcionamiento software Humberto Martínez Barberá.....	60

A.3. Java	61
A.4. Código Router Virtual	62
A.5. <i>Sistemas de comunicaciones móviles</i>	62
Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles	62
Estándar de comunicaciones móviles	64
Sistemas de comunicaciones móviles 2G	64
Sistemas de comunicaciones móviles 2.5G	66
Sistemas de comunicaciones móviles 3G	67
Sistemas de comunicaciones móviles 4G	69
Sistemas de comunicaciones móviles 5G	70

FIGURAS

Figura 1.1. Estructura base del VNAS

Figura 2.1. Ejemplo de las tres partes de un sistema de telemetría. [5]

Figura 2.2. Regulador Watt [6]

Figura 2.3. Circuito de vía [8]

Figura 2.4. Topología en estrella colocada en los monoplazas de la F1. [10]

Figura 2.5. Retransmisor en banda-L y antena colocada en el exterior del monoplaza [10]

Figura 2.6. Esquema resumen de la telemetría en la F1. [11]

Figura 2.7. Diseño del proyecto Arduino. [2]

Figura 2.8. Representación de la moto dentro del circuito. [2]

Figura 2.9. Grafica que muestra los datos recogidos del acelerómetro. [2]

Figura 2.10. Equipo utilizado para la creación de las diferentes redes. [2]

Figura 2.11. Ferry SVAN en su primer ensayo.

Figura 2.12. Sea Hunter

Figura 3.1. Esquema real que irá montado en el catamarán.

Figura 3.2. Antena GPS GARMIN

Figura 3.3. Compás ciego AIRMAR.

Figura 3.4. Smart TRIDUCER AIRMAR.

Figura 3.5. Anemómetro con veleta RAYMARINE.

Figura 3.6. Conversor SeaTalk 1 a SeaTalk NG.

Figura 3.7. PI3 con PIKAN2

Figura 3.8. Software cedido por Humberto Martínez Barberá.

Figura 3.9. Motor JAGO

Figura 3.10. Modem 3G libre

Figura 3.11. Antena SBA 9113

Figura 3.12. Cable coaxial con conector tipo N.

Figura 3.13. R&S CMW500

Figura 3.14. Comunicación inalámbrica a través de la red publica

Figura 3.15. Comunicación inalámbrica a través de la red privada del CMW500.

Figura 4.1. Archivo wpa_supplicant.conf

Figura 4.2. Datos recibidos de la Raspberry en el servidor.

Figura 4.3. Fichero wvdial.

Figura 4.4. Confirmación de correcto funcionamiento del modem 3G.

Figura 4.5. Elección de GSM.

Figura 4.6. Parámetros de GSM.

Figura 4.7. Configuración del servicio PS

Figura 4.8. Configuración de los parámetros RF.

Figura 4.9. Configuración de la IP del componente DAU

Figura 4.10. Célula de GSM desactivada.

Figura 4.11. Célula de GSM activada.

Figura 4.12. Modem 3G reconocido en la célula GSM.

Figura 4.13. Establecimiento de una comunicación inalámbrica a través de GSM

Figura 5.1. Interfaz gráfica del servidor [2]

Figura 5.2. Ejemplo de información recibida de los sensores

Figura 5.3. Identificador de sentencia GLL [34]

Figura 5.4. Identificador de sentencia HDG [34]

Figura 5.5. Identificador de sentencia RMC [34]

Figura A.1. Primera pantalla del R&S CMW500

Figura A.2. CMW500 como Analizador

Figura A.3. CMW500 como Analizador

Figura A.4. Software cedido por Humberto Martínez Barberá.

Figura A.5. Código de la aplicación router virtual.

Figura A.6. Red sin reutilización de frecuencias Vs. Red con reutilización de frecuencias. [12]

Figura A.7. Arquitectura de Red GSM [12]

Figura A.8. Esquema red UMTS.

Figura A.9. Esquema red 4G.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

La motivación por la cual estamos realizando este proyecto es para poder participar en un futuro en “The Microtransat Challenge”. [1] El Microtransat Challenge es una carrera transatlántica para embarcaciones autónomas. La carrera tiene como objetivo estimular el desarrollo de embarcaciones autónomas a través de la competencia amistosa.

La embarcación autónoma, a la que hemos denominado VNAS (Vehículo de Navegación Autónoma en Superficie), deberá superar unas pruebas propias que se realizarán en el puerto de Cartagena, las primeras pruebas se realizarán con baterías a las que en la futura competición habrá que instalarle unas placas solares. La finalidad de estas pruebas consiste entender y controlar la tecnología que estamos usando para en un futuro poder participar en el Microtransat Challenge.

Este proyecto se enmarca dentro de un trabajo multidisciplinar que comprende distintas tareas como la creación del casco del catamarán, el control de los motores y lo relacionado con este proyecto que es la elaboración de un sistema de telemetría de un vehículo de navegación autónoma en superficie. Aunque este proyecto se particulariza en la configuración de un sistema para la transmisión de los datos.

Para facilitar la realización del proyecto vamos a partir de los estudios realizados por nuestros compañeros años antes para la competición MotoStudent [2] y replicando el sistema de navegación del profesor Humberto Martínez Barberá.



Figura 1.1. Estructura base del VNAS

1.2. Objetivos

Los objetivos que se requerían para este trabajo final de grado consisten en poder tener una representación en tiempo real de la información captada por los sensores, a la vez que se puede ir enviando ordenes al catamarán para que vaya redirigiendo su punto de destino y velocidad.

El objetivo del cual se encarga este proyecto es el de diseñar un sistema de comunicación bidireccional, en el que los datos que recibe el cerebro de nuestro sistema de los sensores se envíen de forma automática hacia el servidor donde se representaran en tiempo real y se almacenaran para poder ser representados en cualquier momento. Con esto se podrán analizar posteriormente los fallos que se hayan podido cometer durante la salida de la embarcación al mar.

La base de este proyecto viene dada por un proyecto que realizaron unos compañeros en 2013-2014, el cual continuaron en 2014-2015 otros dos compañeros. El propósito de este trabajo era la realización de un sistema para la telemetría de la moto del equipo MotoUPCT de la universidad. Se llevó a cabo una división del sistema completo de telemetría, las divisiones fueron: la adquisición y envío de datos a través de un canal y la representación y almacenamiento de los datos recibidos.

En nuestro caso hemos realizado una división similar, en primer lugar, realizando una comunicación bidireccional con tres tecnologías distintas WIFI, una red pública y una red privada creada con el CMW500, en segundo lugar, la representación y almacenamiento de los datos en un servidor situado en la universidad, pero accesible desde cualquier punto y por último el control de los motores. Cabe decir que el catamarán ha sido diseñado por una alumna de navales.

1.3. Fases del proyecto

Este proyecto ha sido desarrollado durante 11 meses desde que se empezaron a hacer los primeros pedidos del material que hemos utilizado, del cual hablaremos más tarde, hasta la realización y entrega de la memoria.

La primera fase de este proyecto fue la lectura de los PFCs de años anteriores para empezar a familiarizarnos con el material que íbamos a trabajar. Además, mi compañero Hassan Baharí y yo algunas pruebas de creación de una red privada con el CMW500 que salieron de manera muy satisfactoria.

La segunda fase del proyecto se llevó a cabo en Fuente Álamo, donde se encuentra el sistema náutico original que tuvimos que replicar, realizamos una reunión donde se nos explicó cada una de las partes que componían el sistema y se nos dieron algunas nociones de los estándares náuticos como NMEA 0183 de los cuales tuvimos que buscar información, para comprender todo mejor. En esta fase también podemos añadir que fue la más tardada puesto que en ella se incluye el pedido de los sensores y recepción de los sensores, Raspberry, motores, baterías, cables NMEA 2000, convertidor SeaTalk 1 a SeaTalk ng ...

La tercera fase una vez que ya teníamos todo lo necesario replicamos el sistema que habíamos visto en el laboratorio de investigación, de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones en el edificio de la UMU en Fuente Álamo y empezamos a comprender la aplicación cedida por el profesor Humberto Martínez Barberá. Aquí tuvimos que realizar una búsqueda sobre la configuración del modem 3G que va a ir conectado en la Raspberry dentro del catamarán.

La cuarta fase se basa en la realización del software que recogiese los datos de la Raspberry y los enviase al servidor, las primeras pruebas se realizaron mediante la red wifi del laboratorio, una vez que ya funcionaba se probó con la red pública y el modem 3g con la SIM de Vodafone y para terminar con la parte de comunicación se creó la red privada con el CMW500 y la tarjeta SIM de R&S.

La quinta y última fase del proyecto se trata de la unión de cada una de las partes desarrolladas, sistema de comunicación bidireccional, representación de los datos y control de los motores, para realizar las pruebas reales y cumplir con los objetivos propios que nos habíamos marcado al principio de este proyecto y la redacción de la memoria como final del proyecto.

1.4. Estructura de la memoria

La memoria de este proyecto se puede resumir de la siguiente forma:

- 1) En primer lugar, se habla sobre la motivación por la cual se desarrolla el proyecto y los objetivos que se quieren conseguir.
- 2) Después se hace una explicación de lo que es la telemetría, cómo ha evolucionado, donde se empezó a explotar el uso de la telemetría y por último se habla de la telemetría en que se está empezando a desarrollar en las embarcaciones.
- 3) En el tercer apartado explicamos el proyecto VNAS al completo, sus partes y quienes son los que lo están desarrollando.
- 4) La cuarta parte describe como se ha realizado la comunicación en cada una de las tecnologías siguientes: WIFI, red pública y red privada.
- 5) En el quinto apartado se explica cómo hemos demostrado que funcionaba el sistema de comunicación y los resultados obtenidos.
- 6) Para finalizar el trabajo se hace un resumen y se sacan las conclusiones sobre cuál es la mejor manera de hacer la comunicación.
- 7) Por último, se han añadido unos anexos donde se explican diversos temas referentes al proyecto como funcionamiento del CMW500 o un resumen de las tecnologías existentes para la realización de una comunicación.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción a la telemetría.

La telemetría es la grabación y transmisión automática de datos desde fuentes remotas o inaccesibles a un sistema de TI en una ubicación diferente para la supervisión y el análisis. Los datos de telemetría pueden transmitirse por radio, infrarrojo, ultrasonido, GSM, satélite o cable, dependiendo de la aplicación (la telemetría no solo se utiliza en el desarrollo de software, sino también en meteorología, inteligencia, medicina y otros campos). Proviene del griego “tele” que significa distancia y “metron” medida. Aunque la telemetría se suele asociar al envío de información sin cables, también se puede realizar por otros medios cableados. Uno de los principales beneficios de la telemetría es el dar la capacidad de poder monitorizar un objeto o un entorno mientras que se está en otro lugar lejos. [3]

El sistema de telemetría está formado por tres componentes clave:

- ✚ Sensores en la fuente remota que mide datos físicos (como la precipitación, presión o temperatura) o eléctricos (como la corriente o el voltaje). Esto se convierte en voltajes eléctricos que se combinan con datos de temporización.
- ✚ Un medio de transmisión ya sea guiado por ejemplo con fibra óptica o no guiado con ondas de radio, por donde se transmite la secuencia de datos recogidos de los sensores.
- ✚ Un dispositivo que procese los datos recibidos de los sensores, para analizarlos y transformarlos como sea conveniente. En nuestro caso lo que hacemos es implementar un software que una vez que tiene los datos recogidos los procesa y los almacena en una base de datos, estos datos se representan en tiempo real, aunque también se tiene la opción de hacer una representación de los datos de sesiones anteriores.

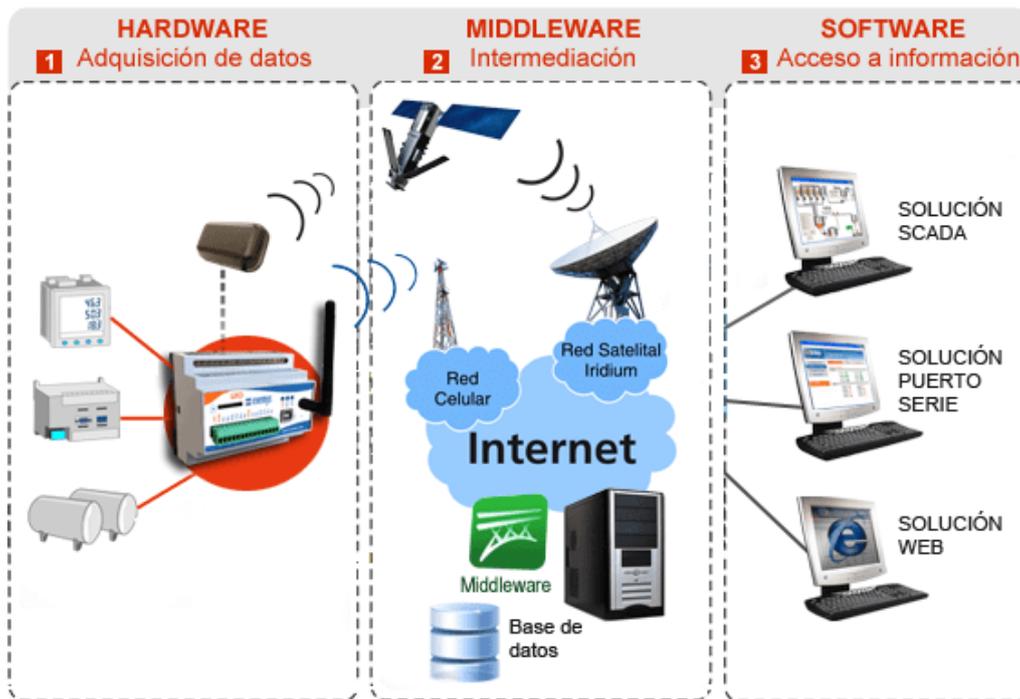


Figura 2.1. Ejemplo de las tres partes de un sistema de telemetría. [5]

2.2. Origen y evolución de la telemetría

Porque el origen de los objetos conectados no es algo de hace pocas décadas, en realidad se remonta hasta los albores tecnológicos del siglo XIX, en lo que se consideran los primeros experimentos de telemetría de la historia. El primero del que se tiene constancia fue el llevado a cabo en 1874 por científicos franceses. Estos instalaron dispositivos de información meteorológica y de profundidad de nieve en la cima del Mont Blanc. A través de un enlace de radio de onda corta, los datos eran transmitidos a París. [20]

Durante la I Guerra Mundial, en 1915, se creó un circuito de transmisión de datos, desarrollado por el alemán Khris Osterhein y el italiano Franchesco Di Buonanno para medir la distancia hasta los objetivos de artillería. [4]

La telemetría industrial apareció con los sistemas impulsados a vapor siendo estos los primeros procesos industriales controlados de forma fiable. James Watt incluyó en el motor de vapor de Thomas Newcomen dispositivos de monitorización y control. El “flyball govornor” o regulador Watt es el dispositivo más conocido (figura 2.2). Monitorizaba y controlaba el proceso interno de un motor de vapor a distancia. Aunque no había demasiada distancia, esto era necesario pues el lugar donde había que estar era inaccesible prácticamente.

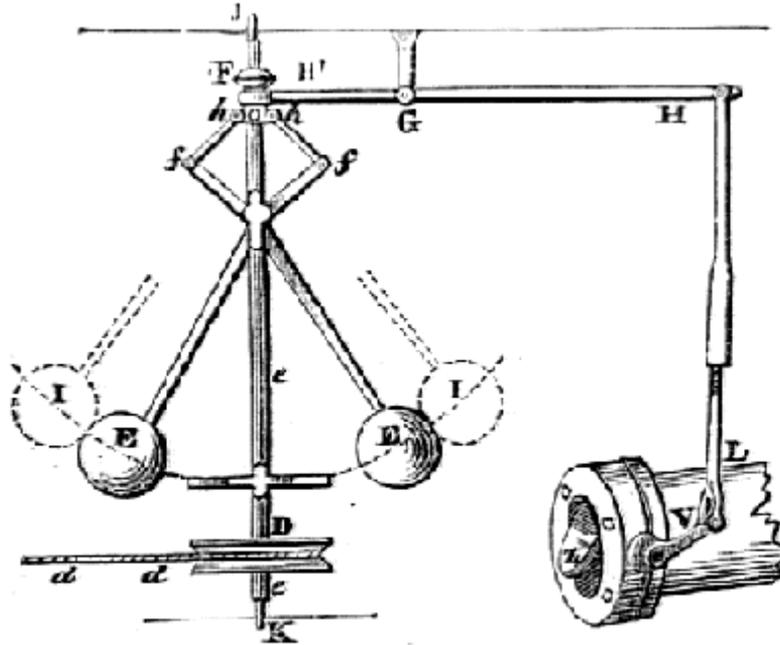


Figura 2.2. Regulador Watt [6]

El sistema de seguridad ferroviaria (figura2.3), presentado por William Robinson, fue otra de las primeras aplicaciones de monitorización a distancia. El funcionamiento de este sistema se basa en un circuito eléctrico formado por las vías del tren, estas creaban una diferencia de potencial, cuando llegaba un tren las ruedas cortocircuitaban los carriles y se detectaba que la zona estaba ocupada por un tren. Esto se podía envía a una gran distancia [7].

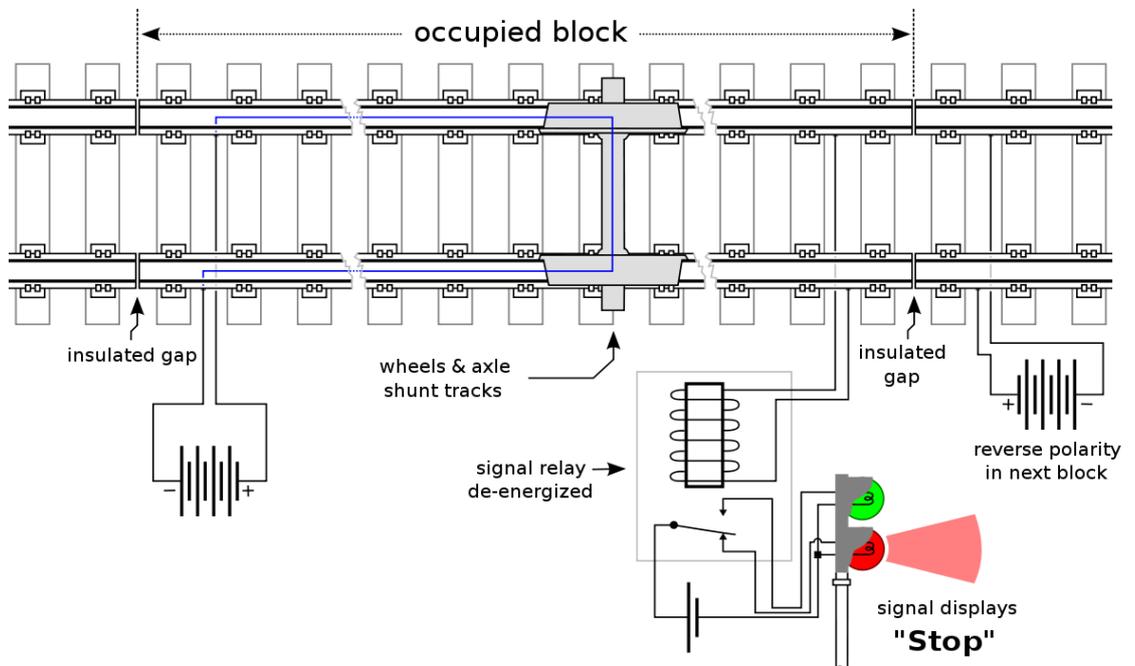


Figura 2.3. Circuito de vía [8]

El control y monitorización de los trenes continuó su desarrollo a un ritmo constante en el siglo XX. El circuito de las vías es la técnica de indicación de ocupación de vías más utilizada actualmente, pero ahora se puede llegar a mucha más distancia, miles de millas para controlar el tráfico de trenes en tiempo real.

La radiosonda se inventó en 1930, a partir de esto se comenzó a observar el tiempo de forma más efectiva, se empezó a monitorear la temperatura humedad y la presión de la atmosfera. La distancia de medición de este instrumento es de unos 50000 pies.

A pesar de todos estos avances, esta tecnología de telecontrol no sufrió un cambio significativo hasta los años 40. Durante la Segunda Guerra Mundial se idearon nuevas soluciones para establecer una comunicación ante la necesidad de dirigir señales de aviso.

La historia de la telemetría industrial abarca cerca de 200 años, eventos como la Revolución Industrial, las dos Guerras Mundiales y el desarrollo de los ordenadores y la informática. En la actualidad, la telemetría abarca multitud de ámbitos industriales como el aeroespacial, control de plantas químicas, exploración científica de naves no tripuladas (submarinos, aviones de reconocimiento y satélites), ámbitos médicos, y el mundo de la competición entre los que destacan categorías como Moto GP y Fórmula1.

2.3. Aplicaciones de la telemetría

La telemetría puede ser usada en multitud de aplicaciones algunas de las cuales desarrollaremos en este apartado.

La telemetría se usa actualmente en todo tipo de situaciones tanto las empresas para monitorizar todo su proceso de fabricación, empresas de luz, agua y gas ofrecen servicios de telemetría a sus clientes para que puedan ver su consumo al instante y modificar su tarificación, también se utiliza en competiciones deportivas como fórmula 1, moto GP e incluso en fútbol y baloncesto para controlar la distancia que recorren los jugadores, así como su velocidad media y punta.

Los sistemas de telemetría más puntera se encuentran en la fórmula 1 y moto GP debido a que son los que mayor inversión hacen para saber de manera más precisa todo el estado del coche en tiempo real para poder indicarle al piloto todos los movimientos que tiene que realizar para que todo funcione lo mejor posible.

En Fórmula 1 la transmisión de los datos se basa en ondas microondas en la banda UHF(300MHz-300GHz) y en conexiones punto a punto. Para esta comunicación es necesario que hay una visión directa entre las antenas porque estas ondas no pueden superar obstáculos tales como muros. Por este motivo se usa envío de información a corta distancia y existen antenas repetidoras a lo largo del circuito las cuales reciben la información de los monoplazas y la reenvían.

Cada uno de los monoplazas lleva alrededor de unos 300 sensores para que no quede ningún apartado del coche sin monitorear, y sigue una distribución en estrella como la que se muestra a continuación.

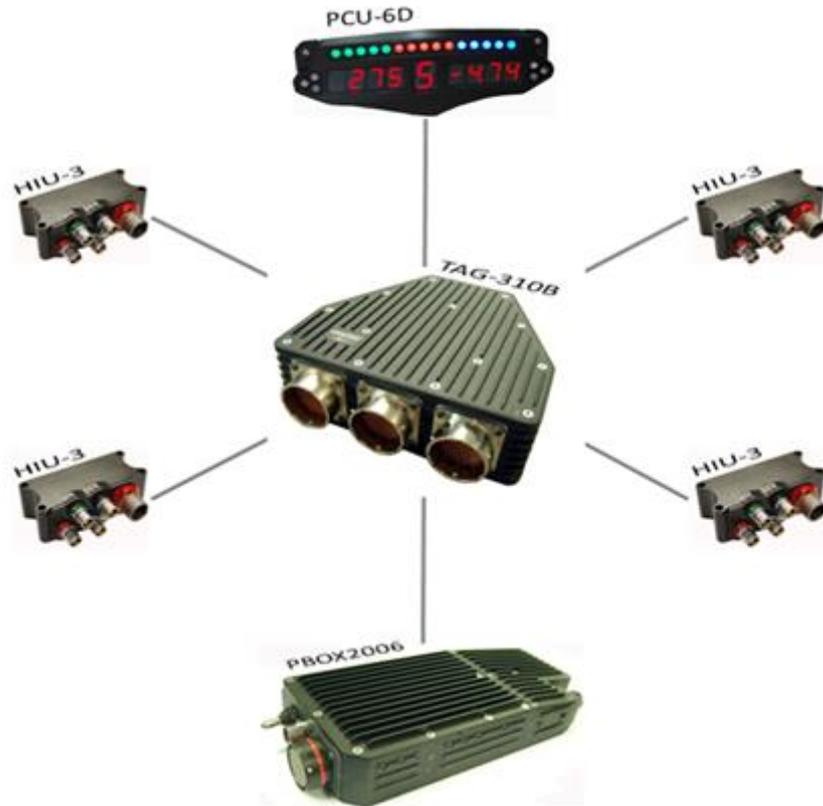


Figura 2.4. Topología en estrella colocada en los monoplaza de la F1. [10]

Toda la información que se recibe de los sensores se envía por medio de un bus Can al TAG-320B (modelo actualizado), también conocido como el ECU es el centro de control el cual procesa toda la información de los sensores antes de ser codificados y enviados, el ECU de todos los monoplaza están configurado en base a las restricciones de la FIA. Se retransmite gracias al CBT-610 y a su correspondiente antena omnidireccional que trabaja a una frecuencia de entre 1.45 y 1.65 GHz, con una ganancia de +3 dBi situada en el exterior del monoplace, una en la parte frontal y otra en la parte trasera.



Figura 2.5. Retransmisor en banda-L y antena colocada en el exterior del monoplace [10]

Una vez que los datos son transmitidos para recibirlos se necesita un receptor en la misma frecuencia que la antena transmisora, para que finalmente los datos recogidos se procesen por el software ATLAS.

Un esquema para resumir todo lo hablado anteriormente sería el siguiente:

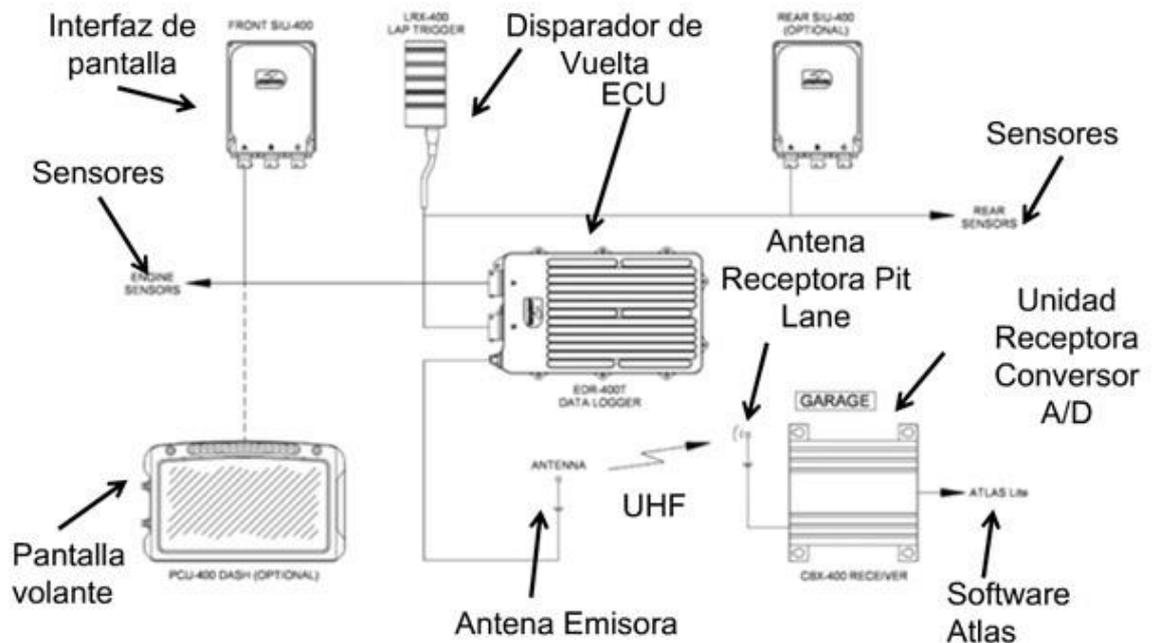


Figura 2.6. Esquema resumen de la telemetría en la F1. [11]

La telemetría en la domótica es uno de los campos que más se está desarrollando en los últimos años con empresas que crean aplicaciones que te indican en tiempo real el consumo eléctrico y de agua que está teniendo ese mes, esa semana o incluso ese día en ese momento.

Actualmente podemos controlar todos los dispositivos electrónicos de nuestra casa con un Smartphone, una Tablet o un ordenador, si a eso le sumamos que podemos saber el consumo que tenemos actualmente podemos programarlo todo para que no superemos un nivel potencia que nosotros nos marquemos desactivando electrodomésticos subiendo bajando persianas para controlar el clima e incluso utilizando los electrodomésticos con mayor gasto en horas de tarificación más baja aunque nosotros no estemos en casa.

Otra de las aplicaciones de la telemetría que se lleva usando ya varios años, pero aún sigue avanzando es la telemetría en medicina, pudiendo realizar una monitorización de la frecuencia cardiaca durante largos periodos de tiempo en pacientes con alto riesgo de ataques cardiacos.

El sistema utiliza radiotransmisores que están conectados al paciente mediante 5 electrodos adheridos a la piel, y que permiten dotar de mayor libertad a los pacientes para deambular y moverse.

Un estudio realizado en el hospital de Granada, obtuvo que el 80% de los pacientes estudiados registraron eventos en la telemetría siendo el 23% de ellos graves.

2.4. Sistema de Telemetría usado en el equipo MotoUPCT

En 2014 se decidió montar un sistema de telemetría en la moto del equipo competitivo de motociclismo de la UPCT. Con este proyecto se conseguiría una ventaja competitiva ante el resto de universidades que participan en el torneo MotoStudent pudiendo saber en tiempo real la posición de la moto y el estado en el que se encuentra la moto pudiendo así adelantarse a algún fallo que pudiese originarse durante la competición.

En primera instancia se desarrollaron tres PFCs los cuales por ser demasiado simples no fueron implantados en la moto, pero un año después se realizaron otros dos con una aplicación más práctica que si se llevaron a cabo.

Los tres primeros trabajos final de carrera fueron, “Desarrollo de un dispositivo de telemetría basado en la plataforma Arduino y Shield 3G + GPS”, desarrollado por Pedro Celestino López. En este proyecto se usa una placa Arduino para recibir la información que reciben los sensores instalados en la moto del equipo MotoUPCT, la manera en la que se procesa esa información y como se envía.

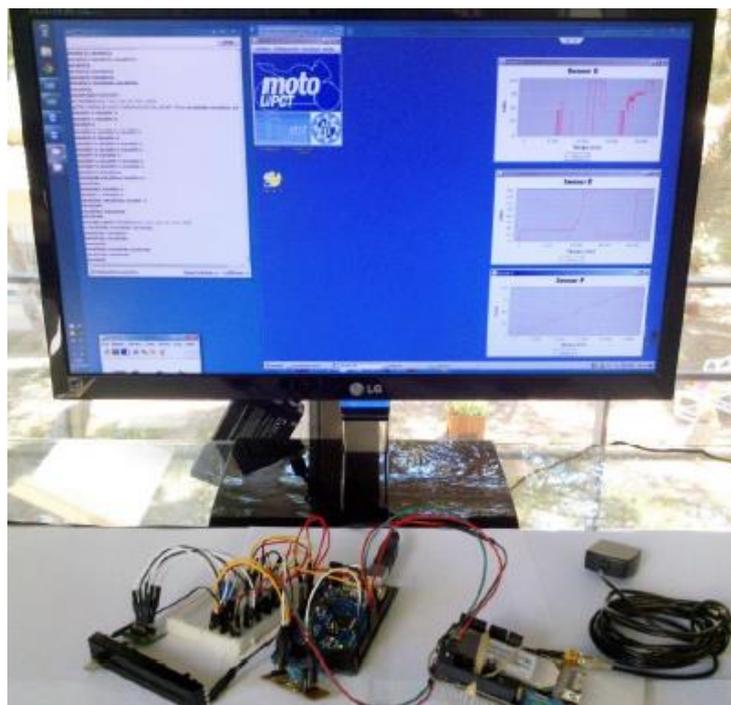


Figura 2.7. Diseño del proyecto Arduino. [2]

El segundo de los proyectos de ese año fue el de Pedro José Conesa que trataba sobre “Desarrollo de un software de telemetría para el control de una moto de carreras”. [2] Este proyecto desarrolla un software que recibiese la información que se envía de los sensores, la almacenase y fuese capaz de representar unas graficas que hiciesen más fácil la comprensión de los datos y un mapa que nos indicase la posición de la moto dentro del circuito.



Figura 2.8. Representación de la moto dentro del circuito. [2]

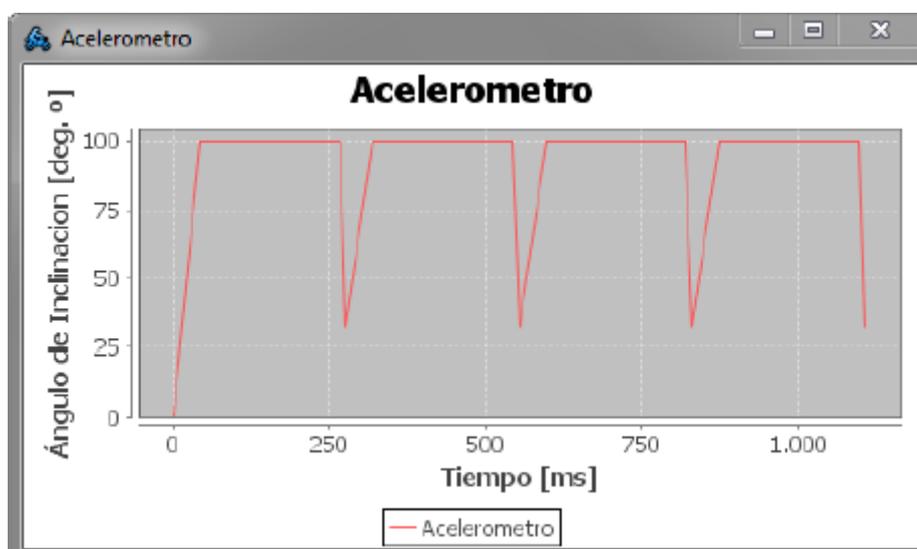


Figura 2.9. Grafica que muestra los datos recogidos del acelerómetro. [2]

El tercero y último de los proyectos fue el de María Belén Pérez Muñoz, basado en “Implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de una moto de carreras”. Este es el proyecto en el que se basa el que se desarrolla ahora, pero en este se hace un estudio de la cobertura que se tenía en diferentes espacios con la red que se creaba con el CMW500 en tecnologías GSM y UMTS.



Figura 2.10. Equipo utilizado para la creación de las diferentes redes. [2]

Los dos trabajos del año siguiente son una continuación de los trabajos de María Belén y Pedro José Conesa, realizados por Víctor Huescar y David Hernández. En estos se realiza una aplicación web para la representación de los datos usando el servidor web Apache y se crea un enlace con el CMW500 para enviar los paquetes de datos que se reciben de los sensores ubicados en la moto.

2.5. Telemetría en embarcaciones

Debido a que nuestro proyecto se centra en el desarrollo de un barco autónomo vamos a dedicar un apartado especial para enseñar algunos de los últimos ejemplos de barcos autónomos que se han construido últimamente.

2.5.1. Ejemplos de telemetría en embarcaciones.

La Organización Marítima Internacional (OMI), el órgano regulador del transporte marítimo internacional, ha comenzado la labor para determinar el modo de abordar en sus instrumentos la navegación de los buques marítimos autónomos de superficie (MASS) en condiciones de seguridad, protección y ambientalmente racionales. [24]

Para facilitar el proceso del estudio exploratorio sobre la reglamentación, los grados de autonomía se organizan como sigue (la lista no sigue un orden jerárquico):

- ✚ Buque con procesos automatizados y apoyo en la toma de decisiones. La gente de mar está a bordo para operar y controlar los sistemas y las funciones de a bordo. Algunas operaciones pueden estar automatizadas.
- ✚ Buque controlado a distancia con gente de mar a bordo: El buque se controla y opera desde otro emplazamiento, pero hay gente de mar a bordo.
- ✚ Buque controlado a distancia sin gente de mar a bordo: El buque se controla y opera desde otro emplazamiento. No hay gente de mar a bordo.

- ✚ Buque totalmente autónomo: El sistema operativo del buque es capaz de tomar decisiones y de determinar acciones por sí mismo. [24]

Rolls-Royce presenta en Finlandia su primer ferry autónomo

Rolls-Royce, que ya colabora con Intel para crear buques de carga inteligentes, se asoció con la empresa pública local Finferries el pasado mes de mayo para poner en marcha el proyecto SVAN (Safer Vessel with Autonomous Navigation), y así "optimizar la seguridad y la eficiencia de los barcos" del operador de ferrys introduciendo tecnologías de navegación autónoma.

El ferry de SVAN cuenta con innumerables sensores coordinados por una IA que le ayudan a identificar y sortear obstáculos en su entorno, y le permiten incluso contar con un sistema de auto-docking para 'aparcarse' al llegar a puerto. [22]

Durante el trayecto de ida, la nave operó de manera completamente autónoma, pero en el viaje de vuelta estuvo controlado de forma remota desde un centro de mando situado a 50 kilómetros de allí, con el objetivo de demostrar que la nave puede pasar a estar bajo control humano si es necesario. [23]



Figura 2.11. Ferry SVAN en su primer ensayo. [32]

Este trayecto es solo una prueba de lo que se va a poder hacer, pero para conseguir barcos completamente autónomos con capacidad para cruzar el océano aun quedam unos años.

El primer paso hacia ese objetivo es el “sistema de conciencia inteligente”, pensado para ayudar a la tripulación de los barcos actuales. El sistema consta de una serie de cámaras, radares y LIDAR, que son gestionados por un programa central; con un procesador Intel Xeon y almacenamiento SSD con memoria 3D NAND; una vez instalados en el barco, este básicamente gana “ojos y orejas”, según los ingenieros.

El sistema genera aproximadamente un terabyte de datos cada día; datos que son analizados en busca de posibles problemas. Por ejemplo, usando visión artificial el sistema es capaz de encontrar obstáculos; como, por ejemplo, otros barcos cercanos. Por el momento, el sistema no toma el control, sino que avisa al puente para que tomen la decisión adecuada.

El sistema es capaz de identificar diferentes tipos de barcos, como cruceros o petroleros. Es especialmente útil en situaciones de baja visibilidad, como por ejemplo, con mal tiempo; y puede ser la salvación en puertos o lugares con mucho tráfico de barcos. Usando LIDAR (acrónimo del inglés, Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging, es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado), el sistema muestra en tiempo real las distancias, y lanza una alarma si son demasiado cortas. [31]

Sea Hunter

También existen embarcaciones autónomas, pero no de uso civil, la DARPA ha completado con éxito su programa de buques no tripulados de rastreo continuo contra la guerra submarina (ASW) y ha transferido oficialmente el buque de demostración de tecnología, bautizado como Sea Hunter, a la Oficina de Investigación Naval (ONR). [25]



Figura 2.12. Sea Hunter

3. Proyecto VNAS

En este apartado vamos a describir el proyecto de lo más general explicando cada una de las partes en las que se ha dividido y quienes son los alumnos que van a participar para hacer posible este proyecto. Después de hacer una breve explicación de cada una de las partes, nos centraremos en explicar con un poco más de detalle la parte que a este proyecto compete.

3.1. Descripción general del proyecto VNAS.

En primer lugar, debemos de saber en qué consiste el proyecto VNAS. El proyecto VNAS fue pensado por profesores para la realización de un Vehículo de Navegación Autónoma en Superficie, es decir, la construcción de un barco autónomo creado por alumnos para reforzar algunas de las capacidades aprendidas a lo largo de la carrera. Esta propuesta fue impulsada por el profesor José María Molina García-Pardo perteneciente al departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, además, director de este proyecto.

Cabe decir que el proyecto está dividido en cuatro partes las cuales están bastante bien diferenciadas las cuales son:

1. Construcción del casco del catamarán
2. Desarrollo de un sistema de control de motores basado en posición y velocidad
3. Desarrollo de una app web para la visualización de los parámetros recogidos por los sensores.
4. Implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de un barco autónomo.

La primera de las partes del proyecto es la de la construcción del casco del catamarán. Virginia, una alumna de la escuela de ingeniería naval es la encargada de la creación de una estructura suficientemente resistente para aguantar el peso de todos los componentes que van a ir dentro del barco, pero a su vez ligera para que los motores puedan desplazarlo por el mar. En la figura 1.1 podemos ver como es la estructura principal de la nave, aunque aún no esté terminada.

La segunda parte que hemos mencionado es el desarrollo de un sistema de control de motores basado en posición y velocidad. Esta parte será implementada por el alumno de Ingeniería Industrial Daniel, el cual deberá desarrollar un software que, enviándole una posición destino, una velocidad media (en nudos) y los datos recogidos de los sensores de órdenes a los motores para que giren el barco y lo lleven al punto destino.

En la tercera división del proyecto encontramos el desarrollo de una app web que se encargara de hacer una representación gráfica de los datos obtenidos de los sensores que están colocados en el barco, esta representación podrá ser en tiempo real o de colecciones de datos anteriores. Para ello el alumno encargado Hassan Bahari, deberá guardar los datos recogidos de los sensores en bases de datos por fecha y tipo de sensor, para después poder representarlos y poder estudiar la información recogida por estos sensores.

En esta cuarta y última parte del proyecto implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de un barco autónomo, que es la realizada por mí, Alejandro González, debemos crear un canal de comunicación bidireccional en el que se pueda transmitir la información de los sensores para poder monitorizar el estado y la posición del barco en tiempo real. Para realizar la comunicación punto a punto se ha realizado de tres maneras diferentes: WIFI, Red Pública, Red Privada. Con esto pretendemos que los datos que se recogen de los sensores situados en el VNAS se transmitan inmediatamente al servidor.

3.2. Esquema global del sistema

En la figura 4.1 podemos ver un esquema real del sistema que va a ir montado en el barco.

Como se puede ver, GPS, Compas y Triducer (sensor que mide velocidad, temperatura y profundidad) están conectados por medio tres conectores NMEA 2000 con forma de T. A su vez estos están conectados por un lado al convertidor SeaTalk por el cual se alimentan los sensores con la batería y también se envían los datos del equipo de viento y por otro lado se conecta todo a la Raspberry PI con un adaptador de PICAN 2, el cual se encarga de recoger los datos de los sensores para después mostrarlos como se explica en el Anexo A.2.



Figura 3.1. Esquema real que irá montado en el catamarán.

La figura 4.1 es el montaje realizado para los sensores que irán dentro del barco, debemos añadir que este montaje fue realizado por Hassan y yo el cual nos ha permitido aprender sobre nuevos temas como estándares marinos, conectores y algo de electrónica.

En el barco también irán montados los motores, además de una placa Arduino que los controlará, de esta parte aún no se puede mostrar nada porque sigue en desarrollo.

3.3. Material utilizado.

Como el proyecto se ha realizado para una implementación real hemos tenido que trabajar con un gran número de dispositivos nuevos que, aunque no son la parte fundamental de este proyecto merece la pena hablar de ello por las horas dedicadas en la comprensión y montaje de cada uno de ellos.

3.3.1. Sensores, cables y software.

En este primer punto vamos a numerar los sensores que hemos utilizados, así como el software que se encarga de recopilar los datos dentro de la Raspberry.

- Antena GPS GARMIN 19X 10Hz NMEA 2000: Este sensor es el encargado de recoger la posición en la que se encuentra en barco para poder geolocalizarlo y representarlo en un mapa.[\[26\]](#)



Figura 3.2. Antena GPS GARMIN

- Compás ciego AIRMAR H2183 NMEA 2000: El compás es un dispositivo que no indica la orientación del barco y la inclinación del mismo.[27]



Figura 3.3. Compás ciego AIRMAR.

- Smart TRIDUCER AIRMAR DTS800: este es un sensor múltiple que nos da información de tres parámetros bastante importantes como son la velocidad del catamarán, la profundidad y la temperatura. EL DST800 es el primer transductor analógico retráctil del mercado que ofrece señales de profundidad, velocidad y temperatura en un solo elemento con lo que elimina así la necesidad de tener que disponer de tres tipos de sondas específicos. Estos datos se pueden visualizar en cualquier radar que acepte NMEA 0183 o NMEA2000. La frecuencia es de 235 kHz que evita las interferencias con otras ecosondas de la embarcación. No se trata de un producto NMEA, se trata de un transductor analógico para conectar a instrumentación ST60, por ejemplo. Este transductor presenta una serie de mejoras patentadas, como la velocidad que proporciona una excelente precisión de rueda por debajo de 5 nudos (6MPH) y una salida lineal suavizada en todas las velocidades de embarcaciones. [28]



Figura 3.4. Smart TRIDUCER AIRMAR.

- Anemómetro con veleta RAYMARINE: el anemómetro es un dispositivo que se encarga de capturar la velocidad del viento, el cual en náutica es muy importante porque puede condicionar el movimiento del barco de forma drástica.[29]



Figura 3.5. Anemómetro con veleta RAYMARINE.

- Conversor SeaTalk 1 a SeaTalk NG: El kit convertidor SeaTalk 1 a SeaTalk ng permite la conexión y comunicaciones de equipos SeaTalk 1 en redes de datos SeaTalk ng de Raymarine.

Es compatible con los sistemas SeaTalk 1 de Raymarine (ST40, ST60+, LifeTag, etc.) y se trata de una solución compacta que se conecta en línea con la red de instrumentos y sistemas SeaTalk ng.

El convertidor funciona en sistemas alimentados a 12V CC, es estanco según IPX6. Su valor LEN es 1, debiendo sumarse 3 para cada instrumento SeaTalk que obtenga alimentación desde el convertidor.

Dispone de 2 conexiones al cable troncal SeaTalk ng, 2 conexiones a derivaciones SeaTalk ng, y 1 conexión a derivación SeaTalk 1.[30]



Figura 3.6. Conversor SeaTalk 1 a SeaTalk NG.

- Raspberry PI3 con PICAN2: en la figura 4.9 podemos ver el montaje de la Raspberry con el módulo PICAN2, el cual sirve para recibir la información de los sensores que se representara como en la aplicación instalada en la RPI (figura 4.10). [31]



Figura 3.7. PI3 con Pican2

- Software instalado en la Raspberry: en la figura 4.10 vemos una captura de la interfaz gráfica de la aplicación que nos ha cedido el profesor Humberto Martínez, el funcionamiento de esta se explica en el Anexo A.2.



Figura 3.8. Software cedido por Humberto Martínez Barberá.

3.3.2. Motores

Jago - ETBM03-1 - Motor fueraborda eléctrico 55 LB - 1.790 kg de Fuerza Propulsora [33]



Figura 3.9. Motor JAGO

3.3.3. Modem 3G

Para la parte de la comunicación a través de la red pública y la red privada necesitamos un modem 3G (modelo Huawei) compatible con la SIM, en el caso de la red pública la tarjeta de la compañía Vodafone y en el caso de la red privada con la tarjeta de Rohde and Schwarz CMW-Z04, la cual funciona con tecnologías LTE, UTRAN, GERAN; CDMA2000 e IMS.





Figura 3.10. Modem 3G libre

3.3.4. Instrumento de radio comunicaciones CMW500 de Rohde & Schwarz

Antes de comenzar a explicar la multitud de funcionalidades que tiene este instrumento de radio comunicaciones debemos que saber que para el funcionamiento de la célula GSM que generamos necesitamos emplear una antena, en nuestro caso biónica, y un cable para conectarla del dispositivo.

Antena SBA 9113

Se utiliza como antena transmisora y receptora (figura 4.12). El propósito de utilizar esta antena, la cual tiene un diagrama de radiación muy esférico, es para poder recibir la señal de manera uniforme, además del amplio rango de frecuencias que es capaz de abarcar entre las cuales se encuentra definidas las bandas de GSM.

Características:

- Omnidireccional
- Polarización lineal
- Tx/Rx
- Rango de frecuencias: 500MHz-3GHz (1800MHz)
- Ganancia variable en función de la frecuencia

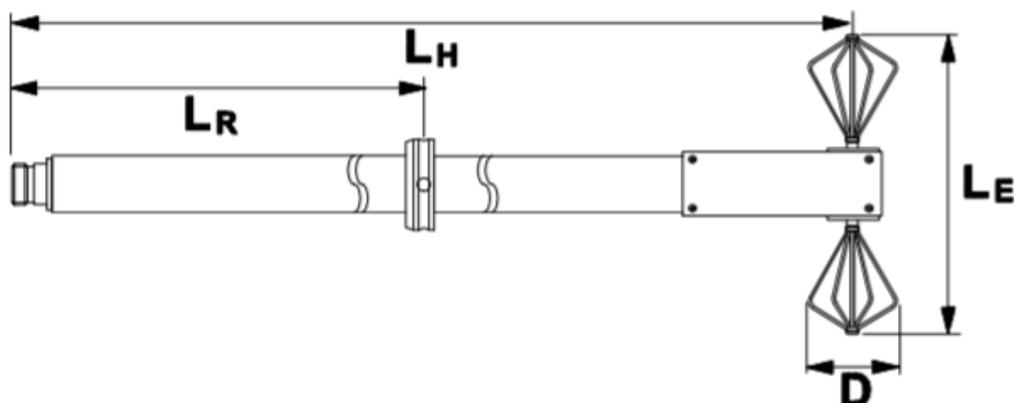


Figura 3.11. Antena SBA 9113

Cables

Para conectar el servidor con el CMW500 usaremos un cable ethernet RJ45.

Para conectar la antena con el CMW500 usaremos cable coaxial con conectores tipo N.

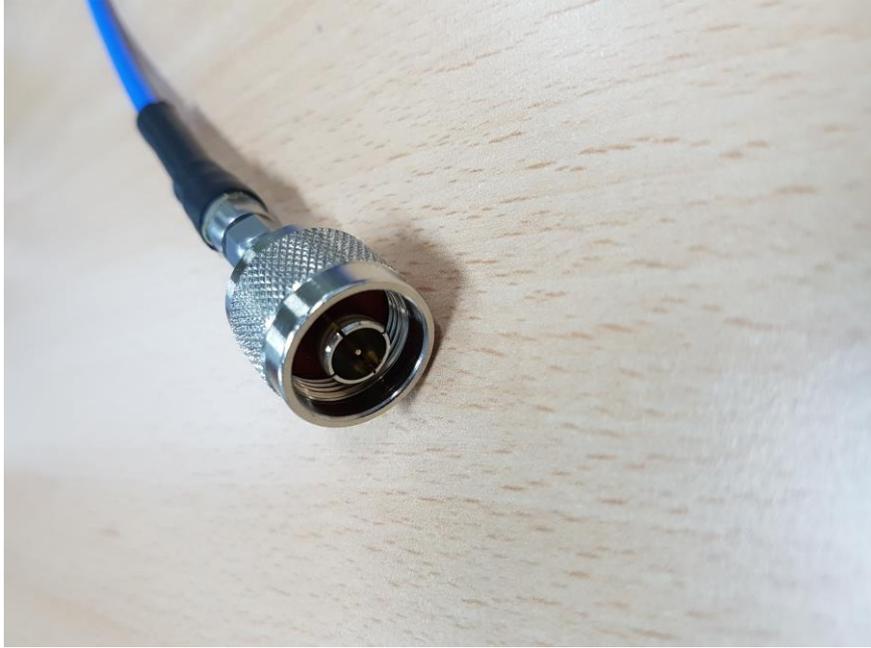


Figura 3.12. Cable coaxial con conector tipo N.

CMW500

Ahora sí, vamos a hablar en profundidad sobre el CMW500 con el cual hemos generado la célula GSM para conexión del barco con el servidor. Para explicar su funcionamiento al completo vamos a explicar en primer lugar una descripción básica del equipo y en el Anexo A.1 podemos ver los modos de funcionamiento.

Descripción general del R&S CMW500.

El R&S CMW500 es un equipo capaz de implementar todas las fases de un proyecto: desarrollo, verificación y producción.

El equipo está formado por dos generadores de señal de RF para las pruebas de carácter general y una serie de generadores que emiten sobre las diferentes tecnologías de comunicación no celulares y celulares. Otra característica es que permite hacer medidas del sistema 10 veces más rápido que otro sistema convencional, en transmisión como en recepción, representando los datos de forma estadística.

El instrumento tiene en su parte frontal varios conectores de RF que permite crear aplicaciones en paralelo, tantas como los conectores te permitan.

Tiene instalado un sistema operativo Windows XP que hace más fácil el uso del sistema. Desde el escritorio se puede ejecutar el Software de la aplicación del instrumento que abre una interfaz gráfica donde podemos configurarlo como nuestras necesidades lo requieran.

La aplicación trae unos valores predefinidos para facilitar la experiencia con el usuario.



Figura 3.13. R&S CMW500

3.4. Escenario de aplicación

Una vez que ya hemos definido cada una de las partes, así como los componentes que hemos utilizado para la realización del proyecto VNAS al completo, toca centrarnos en lo que a este trabajo fin de estudios se refiere.

Para ello vamos a explicar porque hemos elegido los diferentes métodos para implementar la comunicación y un pequeño resumen para después desarrollar paso a paso en el siguiente apartado como lo hemos ejecutado.

1. Vía wifi: este fue el primer método que implementamos para que hubiese comunicación puesto que es el más fácil de ejecutar, además, así entenderíamos de forma más sencilla el propósito del proyecto.
2. Vía modem 3G red Pública (figura 4.1): para este método se tuvo que configurar el modem 3G de Vodafone para que se pudiese conectar en el barco y enviar la información hacia el servidor. Este método lo hemos elegido puesto que pensamos que vamos a tener mayor radio de cobertura con una red pública que con la red privada.



Figura 3.14. Comunicación inalámbrica a través de la red pública

3. Vía red privada CMW500 (figura 4.2): en este caso creamos nuestra propia red GSM para establecer un enlace punto a punto entre el barco y el servidor conectado por cable al CMW500. Con este método lo que conseguimos es completar el trabajo aprendiendo a utilizar un dispositivo que probablemente no hubiésemos podido usar en otro sitio y que es muy completo para la creación de red de comunicación.

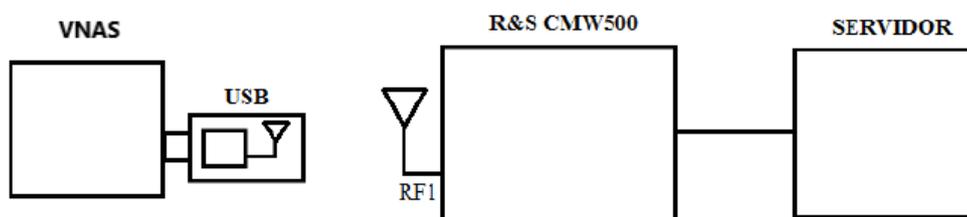


Figura 3.15. Comunicación inalámbrica a través de la red privada del CMW500.

4. Implementación de las comunicaciones VNAS.

En este apartado, vamos a explicar el procedimiento para establecer las diferentes comunicaciones inalámbricas, WIFI, Red pública y red privada con el CMW500. Vamos a mostrar las diferentes configuraciones realizadas y el orden de ejecución.

Antes de hablar sobre las configuraciones tuvimos que hacer un software que simulase un router virtual para que se encaminasen los datos hasta el servidor que tenemos instalado en el laboratorio.

4.1. Software desarrollado para el envío de información.

Antes de empezar a configurar ninguna comunicación hemos tenido que crear una aplicación que cogiese los datos tomados por los sensores (explicado Anexo A.2 “Funcionamiento software Humberto Martínez Barberá”) y los encaminase hasta el servidor web, a través del canal de comunicación creado, lo que se podría definir como un router virtual.

Para el desarrollo de la aplicación hemos usado el lenguaje de programación Java (Anexo A.3), puesto que este es el que más conocíamos y con el cual estaba programada la aplicación que recoge los datos de los sensores.

Esta aplicación irá dentro de la Raspberry y se ejecutará automáticamente cuando se encienda. Su funcionamiento es bastante simple:

- 1) Creamos un DatagramSocket que escuche del puerto que nos interesa, en este caso el 1703 para UDP y el 55000 para TCP. Nosotros utilizamos UDP porque es el protocolo que más nos conviene porque no necesitamos corrección de errores ya que si se pierde un paquete va a llegar otro inmediatamente después y no va a suponer un error importante.
- 2) Creamos un DatagramSocket para el envío desde la raspberry hasta el servidor. [15]
- 3) Hacemos un bucle que ejecute la aplicación de forma infinita. Dentro de este bucle está el paquete que se recibe y luego el paquete donde se envía, al cual se le añade la IP destino, en este caso la del laboratorio y el puerto.
- 4) Añadir que hemos abierto el puerto en el router del laboratorio para que toda la información que llegue a ese puerto se redirija a la IP del ordenador que funciona como servidor.

4.2. Establecimiento de la comunicación inalámbrica mediante red wifi.

Lo primero que tuvimos que hacer con la raspberry era activar el wifi (todo a través de la línea de comando ya que no teníamos una interfaz gráfica puesto que trabajamos sobre la aplicación que recoge los datos de los sensores).

- 1) Abrimos el cmd y nos conectamos a la Raspberry por ethernet con un ssh pi@192.168.100.1 IP estática configurada por el creador la cual ha dado muchos problemas porque si no está bien puesta la aplicación deja de funcionar.
- 2) Una vez dentro del cmd de la RPI escribimos `sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf` con este archivo (figura 5.2) configuramos la wifi.

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 2.2.6 Fichero: /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf Modificado
country=ES
ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
update_config=1

network={
  ssid="nombre de la wifi"
  psk="contraseña"
}

^G Ver ayuda      ^O Guardar      ^R Leer Fich    ^Y Pág Ant      ^K CortarTxt    ^C Pos actual
^X Salir          ^J Justificar   ^W Buscar      ^V Pág Sig     ^U PegarTxt    ^T Ortografía
  
```

Figura 4.1. Archivo wpa_supplicant.conf

- 3) Sudo reboot para reinicia y conectarnos a través de wifi.
- 4) Cuando el wifi está conectado ya funcionaría el envío de datos de la RPI hasta el servidor recibiendo en este último lo siguiente. (figura 5.3)

```

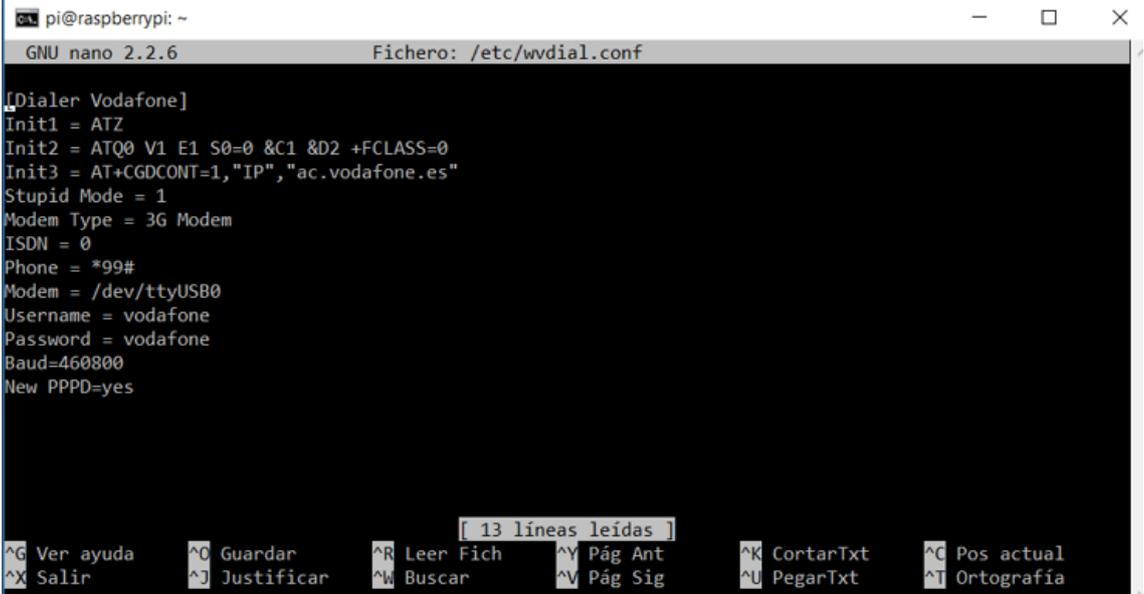
( 2018/10/31 11:04:04:567 ): $NKGLL,3851.39695,N,09447.98799,W,100402,V,N*5F
( 2018/10/31 11:04:04:586 ): $NKHDG,175.79,,,,*71
( 2018/10/31 11:04:04:595 ): $NKRMC,100402,V,3851.39695,N,09447.98799,W,0.00,0.0,311018,0.0,E,N*39
( 2018/10/31 11:04:04:603 ): $RPPXS,954026627151,6,0,0,0,0,0,0,0,0,0,150*61
( 2018/10/31 11:04:04:629 ): $NKHDG,175.79,,,,*71
( 2018/10/31 11:04:04:637 ): $NKGLL,3851.39695,N,09447.98799,W,100403,V,N*5E
  
```

Figura 4.2. Datos recibidos de la Raspberry en el servidor.

4.3. Establecimiento de la comunicación inalámbrica mediante red pública 3G.

Para configurar el modem 3G y que funcione en la Raspberry es algo más complejo. [19]

- 1) Una vez que está el wifi configurado y tenemos conexión con la RPI a través de la red wifi actualizamos con `sudo apt-get update`.
- 2) Ahora debemos instalar la aplicación que permita usar el modem 3G en la Raspberry y que no lo confunda con un USB de almacenamiento de memoria, para ellos utilizamos `sudo apt-get install network-manager network-manager-gnome nm-applet ppp wvdial` y `sudo aptitude install usb-modeswitch`
- 3) Si ponemos los comandos anteriores nos dará error diciendo que el archivo `wvdial` no está configurado, eso no es problema, posponemos instalación y abrimos el fichero `wvdial.conf` con `sudo nano /etc/wvdial.conf` dentro del cual tendremos que escribir lo siguiente. (figura 4.4)



```
pi@raspberrypi: ~
GNU nano 2.2.6 Fichero: /etc/wvdial.conf

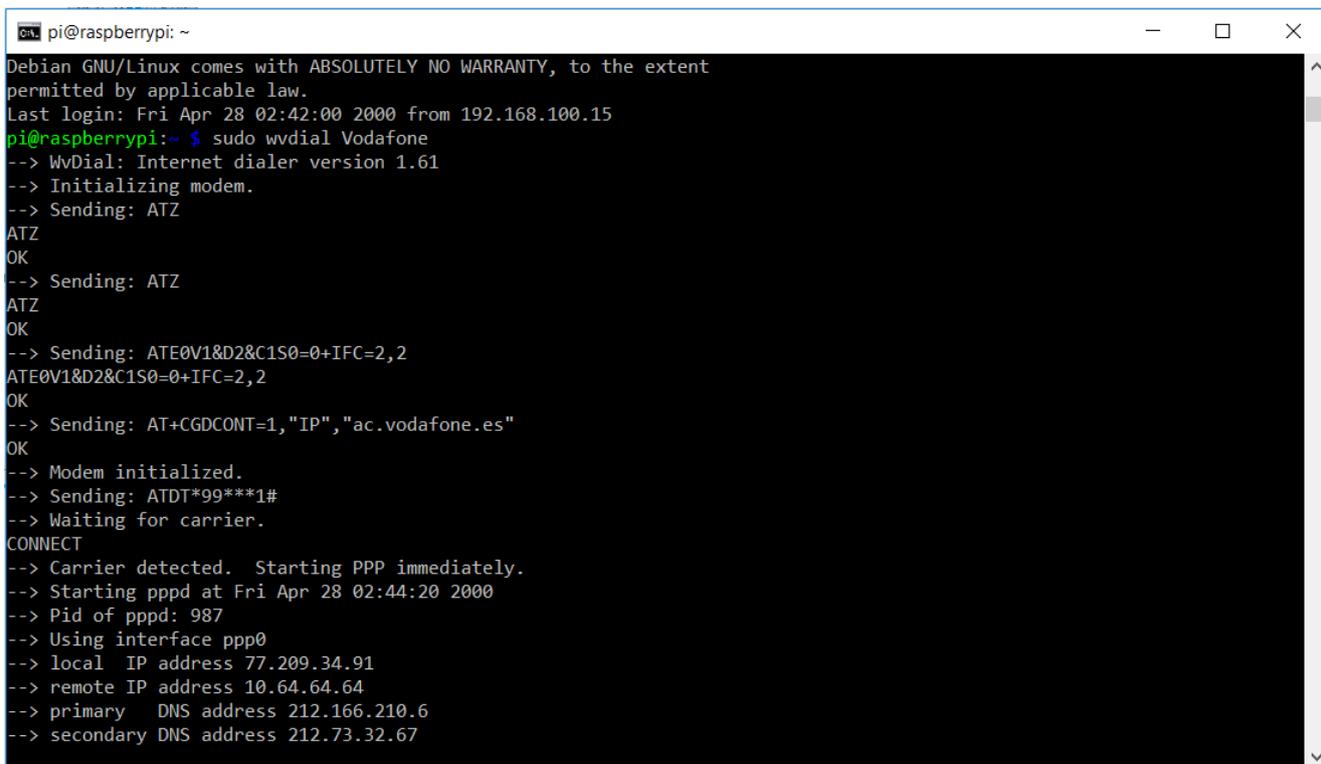
[Dialer Vodafone]
Init1 = ATZ
Init2 = ATQ0 V1 E1 S0=0 &C1 &D2 +FCLASS=0
Init3 = AT+CGDCONT=1,"IP", "ac.vodafone.es"
Stupid Mode = 1
Modem Type = 3G Modem
ISDN = 0
Phone = *99#
Modem = /dev/ttyUSB0
Username = vodafone
Password = vodafone
Baud=460800
New PPPD=yes

[ 13 líneas leídas ]
^G Ver ayuda  ^O Guardar    ^R Leer Fich  ^V Pág Ant    ^K CortarTxt  ^C Pos actual
^X Salir      ^J Justificar  ^W Buscar    ^V Pág Sig    ^U PegarTxt   ^I Ortografía
```

Figura 4.3. Fichero `wvdial`.

- 4) Lo más importante del fichero anterior (figura 5.4) es la correcta colocación del APN de la compañía proveedora del servicio de internet y del usuario y contraseña correctos.
- 5) Una vez configurado esto y si todo funciona correctamente hacemos un `sudo reboot`, nos conectamos a la RPI a través de ethernet para cancelar el wifi, ya que si cancelamos el wifi mientras estas conectado a través de él la aplicación se quedará colgada y deberás de empezar desde cero.
- 6) Cuando ya estemos conectados a través de ethernet a la RPi podemos usar el siguiente comando para activar el modem 3G y que se conecte a la red pública y empiece a enviar la información de manera automática. `Sudo`

wvdial Vodafone, nos aparecerá la información de que está en funcionamiento (figura 4.5)



```
pi@raspberrypi: ~
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Fri Apr 28 02:42:00 2000 from 192.168.100.15
pi@raspberrypi:~ $ sudo wvdial Vodafone
--> WvDial: Internet dialer version 1.61
--> Initializing modem.
--> Sending: ATZ
ATZ
OK
--> Sending: ATZ
ATZ
OK
--> Sending: ATE0V1&D2&C1S0=0+IFC=2,2
ATE0V1&D2&C1S0=0+IFC=2,2
OK
--> Sending: AT+CGDCONT=1,"IP","ac.vodafone.es"
OK
--> Modem initialized.
--> Sending: ATDT*99***1#
--> Waiting for carrier.
CONNECT
--> Carrier detected. Starting PPP immediately.
--> Starting pppd at Fri Apr 28 02:44:20 2000
--> Pid of pppd: 987
--> Using interface ppp0
--> local IP address 77.209.34.91
--> remote IP address 10.64.64.64
--> primary DNS address 212.166.210.6
--> secondary DNS address 212.73.32.67
```

Figura 4.4. Confirmación de correcto funcionamiento del modem 3G.

- 7) Si todo lo anterior sucede ya se recibirán en el servidor los datos recogidos por los sensores y enviados a través del modem. (figura 4.3)

4.4. Establecimiento de la comunicación inalámbrica mediante red privada GSM con CMW500.

Para generar una célula móvil debemos seguir una serie de pasos para que todo funcione correctamente.

En primer lugar, se recomienda que se conecte un teclado y un ratón para hacer más fácil el uso del dispositivo, aunque no es necesario ya que desde el propio frontal del CMW500 se puede acceder a todas las opciones.

Dicho esto, y antes de comenzar con la configuración de software debemos instalar la antena en el puerto que vayamos a utilizar como transmisor y receptor. Si vamos a enviar y recibir mucho tráfico mejor configurar dos antenas diferentes, pero como nuestro propósito es enviar información en el enlace descendente y ocasionalmente en el ascendente utilizaremos una única antena conectada al RF com1.

Una vez terminada la parte hardware comenzamos con la configuración software.
[17] [18]

Arrancamos el programa y seleccionamos que funcione como generador de señales, después seleccionamos señal GSM (figura 4.6) y aparecerá en la barra inferior una pestaña para la configuración de la red. (Figura 4.6)

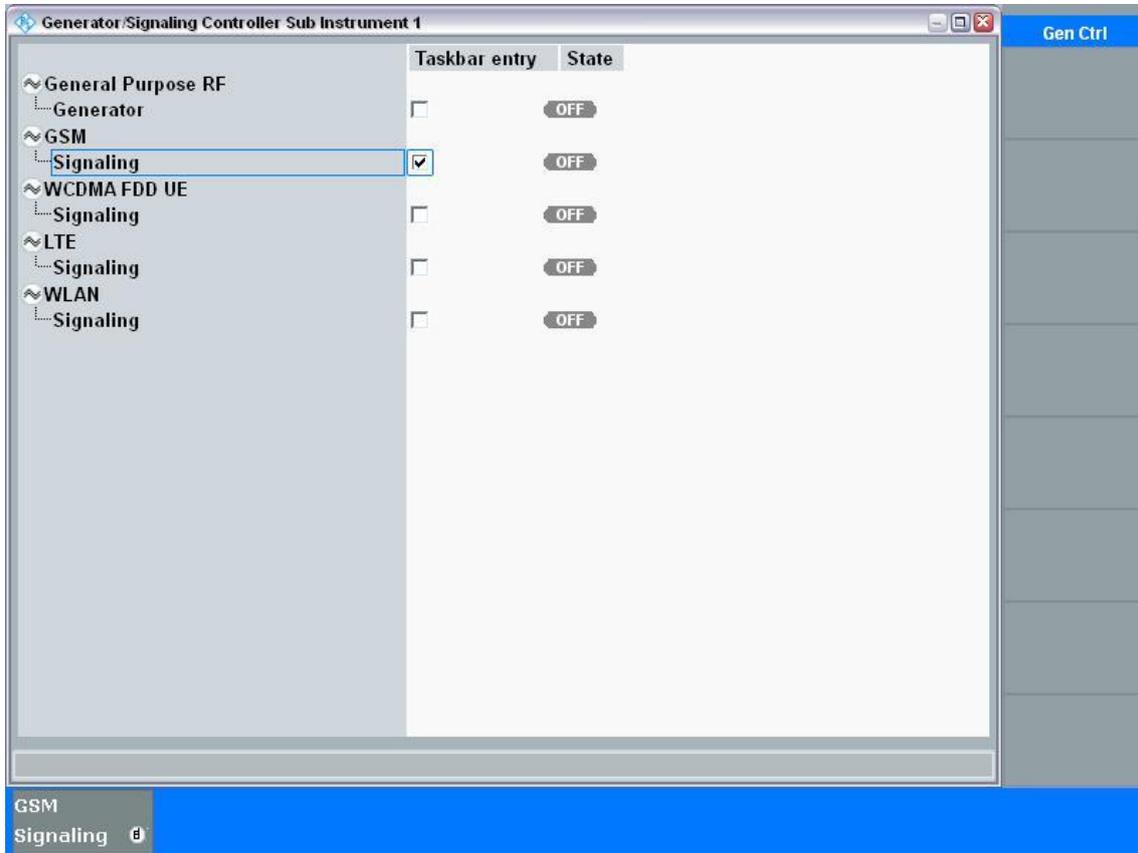


Figura 4.5. Elección de GSM.

Cuando pulsemos sobre la pestaña de configuración de GSM aparecerá una pantalla como la de la figura 4.7 donde configuraremos los parámetros de la célula como se ve en la imagen.

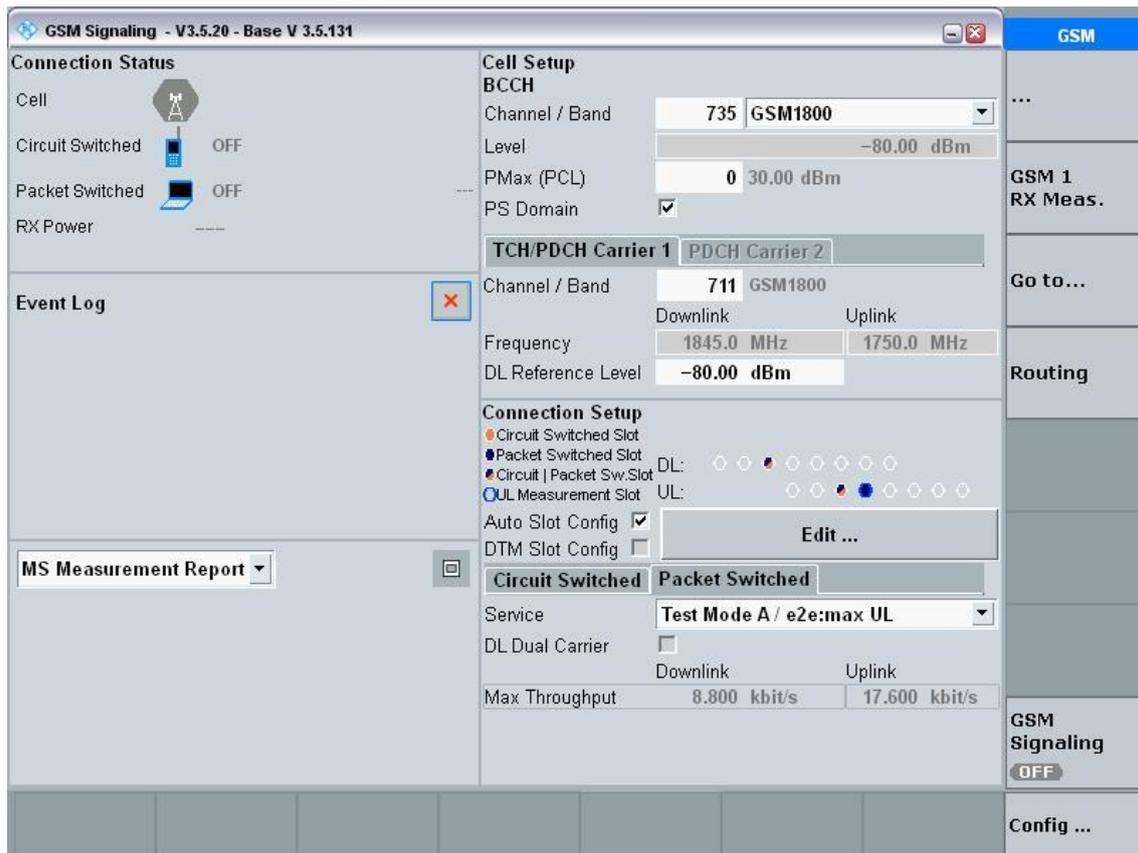


Figura 4.6. Parámetros de GSM.

Como queremos que haya envío de paquetes debemos asegurarnos de que sea posible, para ello vamos a la pestaña config que está en la esquina inferior derecha (figura 4.7) y en la ventana que aparece (figura 4.8) vamos a packet switched y ponemos el valor de PDUs a cero para que se puedan enviar tantos paquetes como se quieran sin que finalice la conexión.

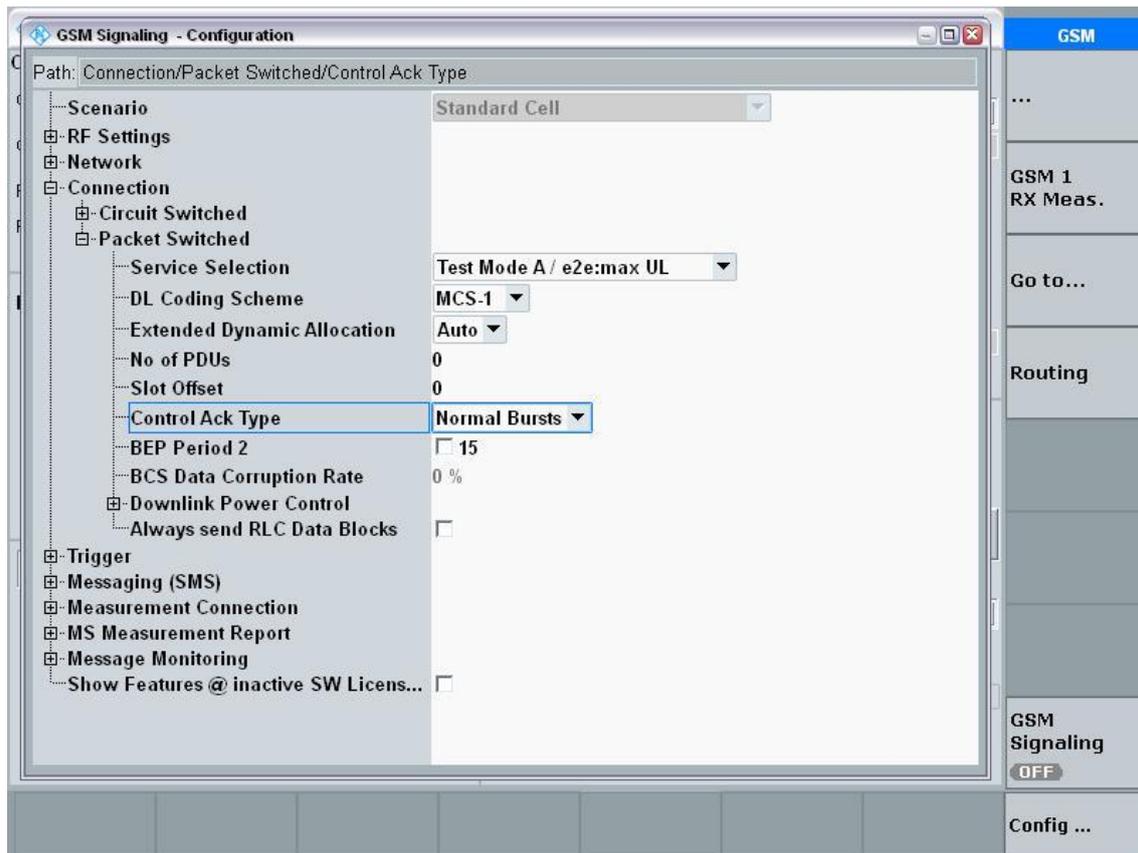


Figura 4.7. Configuración del servicio PS

En este punto debemos configurar los puertos de entrada y de salida como ya se ha hablado anteriormente solo vamos a configurar una única antena para el uplink y el downlink puesto que consideramos que no van a haber colisiones. Para hacer esto debemos ir a la pestaña de routing (figura 4.8), aparecerá en la parte inferior las pestañas para configurar los puertos (figura 4.9). Nuestra configuración ha sido RF com1 para entrada y salida y como valores de atenuación externa 80dB para la salida y 39.5dB para la entrada.

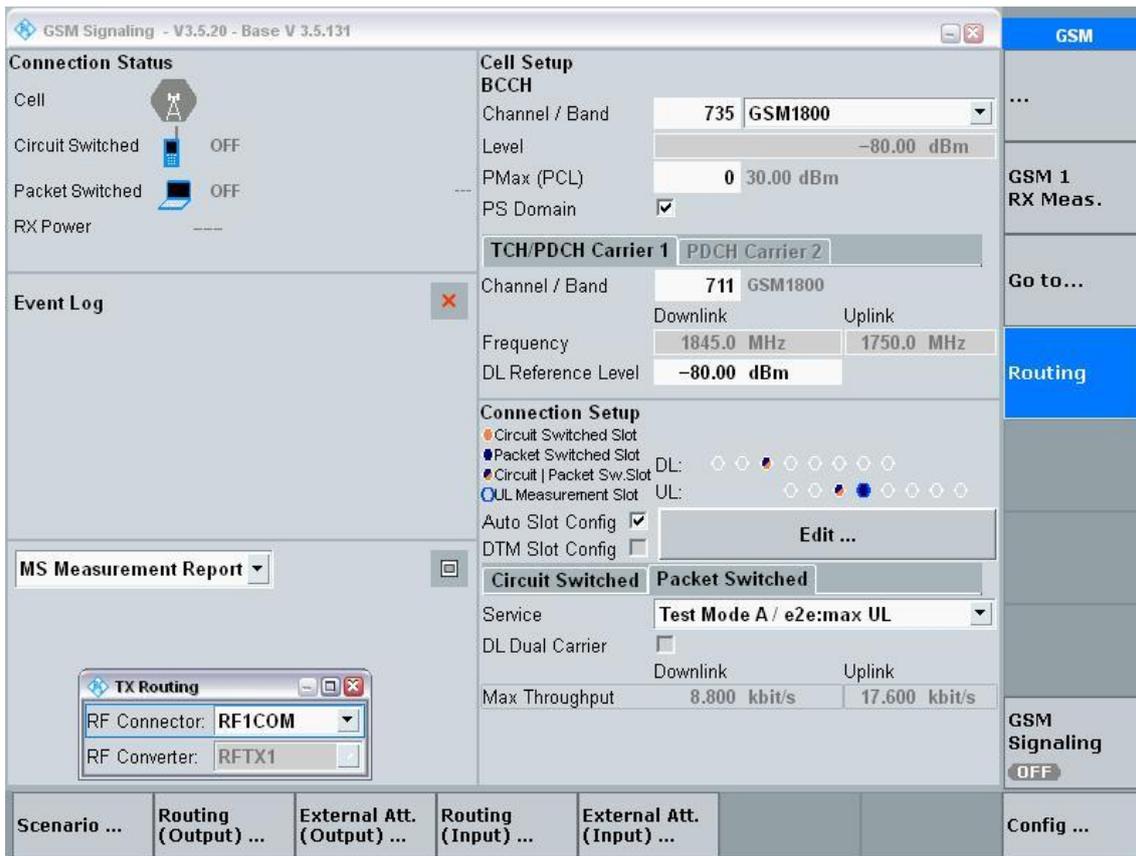


Figura 4.8. Configuración de los parámetros RF.

También debemos configurar la asignación de IP, vamos a configurar una asignación dinámica para ello presionamos SETUP y en Data Application Control presionamos sobre 'go to config'. Configuramos todo como se ve en la figura 4.10.

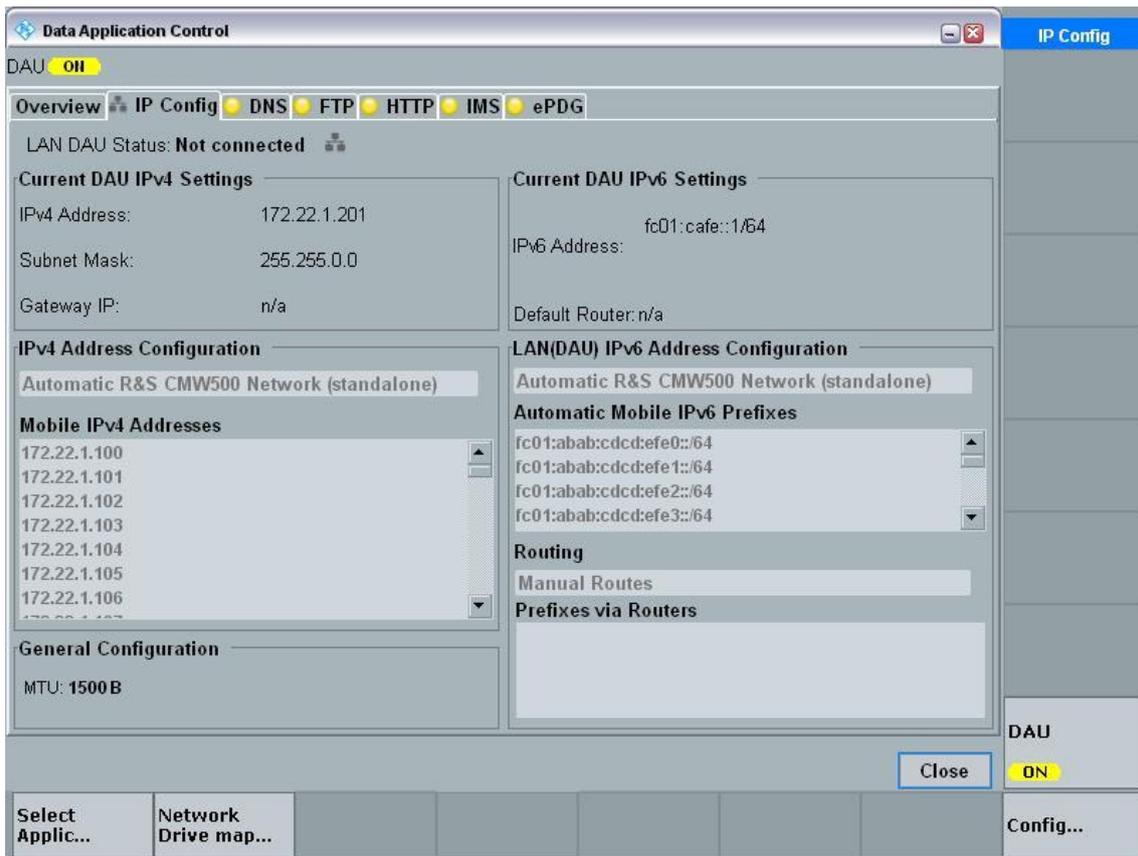


Figura 4.9. Configuración de la IP del componente DAU

Una vez hecho todo lo anterior ya podemos encender la célula de comunicación GSM para ello vemos el estado inicial apagado (figura 4.11) seleccionamos GSM signaling y presionamos el botón On/Off del frontal del equipo, ya habremos encendido la célula. (figura 4.12)

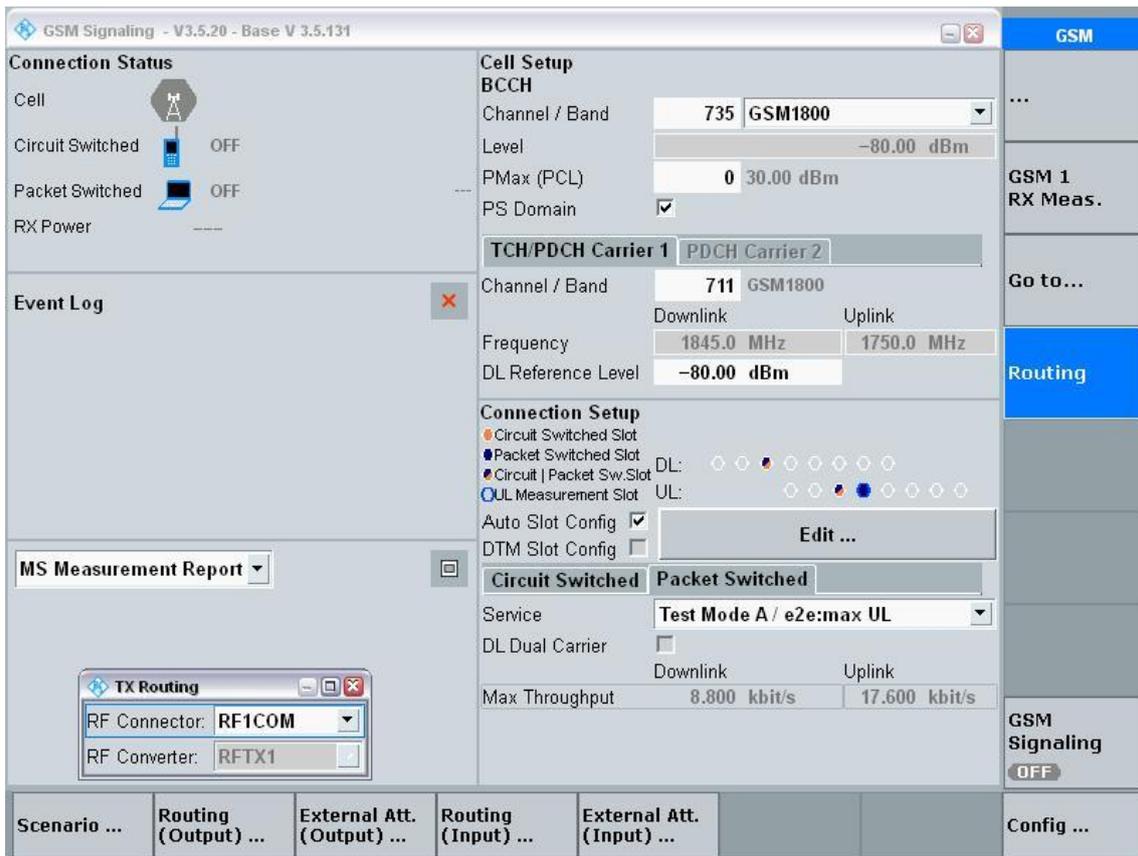


Figura 4.10. Célula de GSM desactivada.

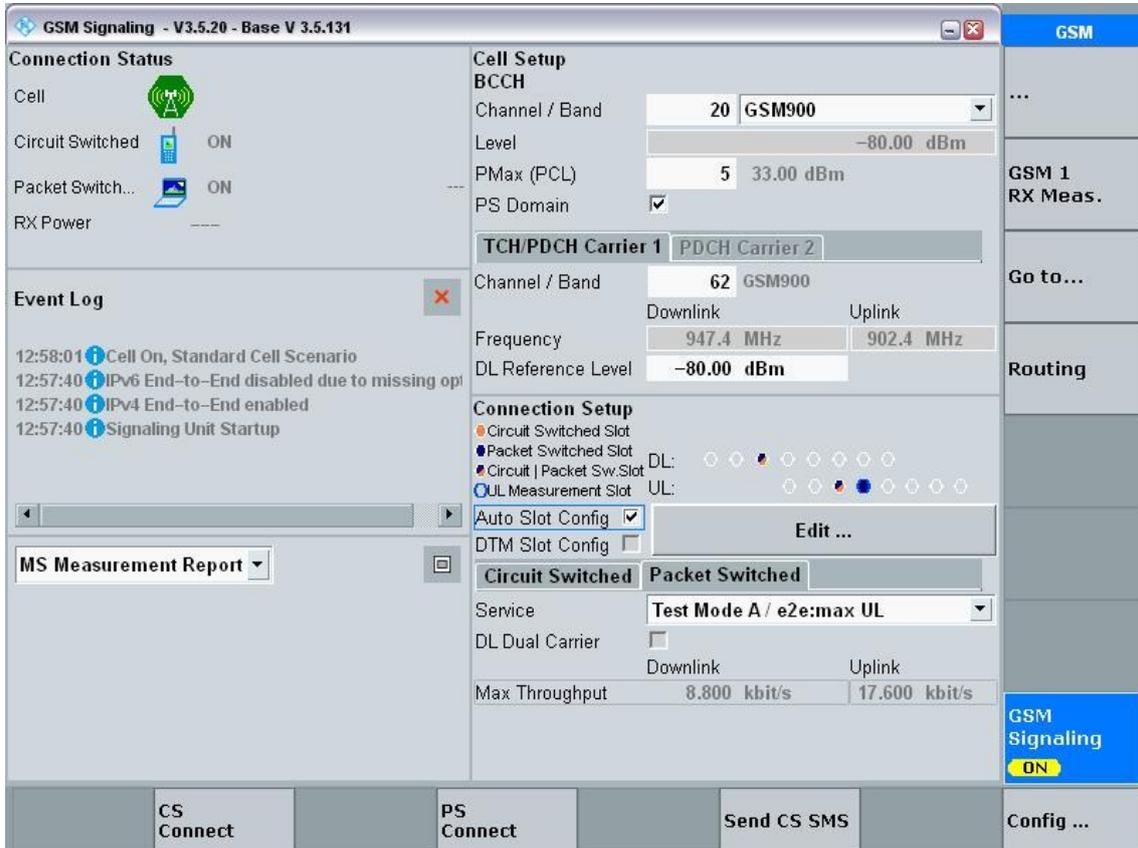


Figura 4.11. Célula de GSM activada.

Cuando se alimenta el modem con la tarjeta de R&S y está dentro de la célula, eta lo reconoce y cambia el estado de la conexión. (figura 5.13)

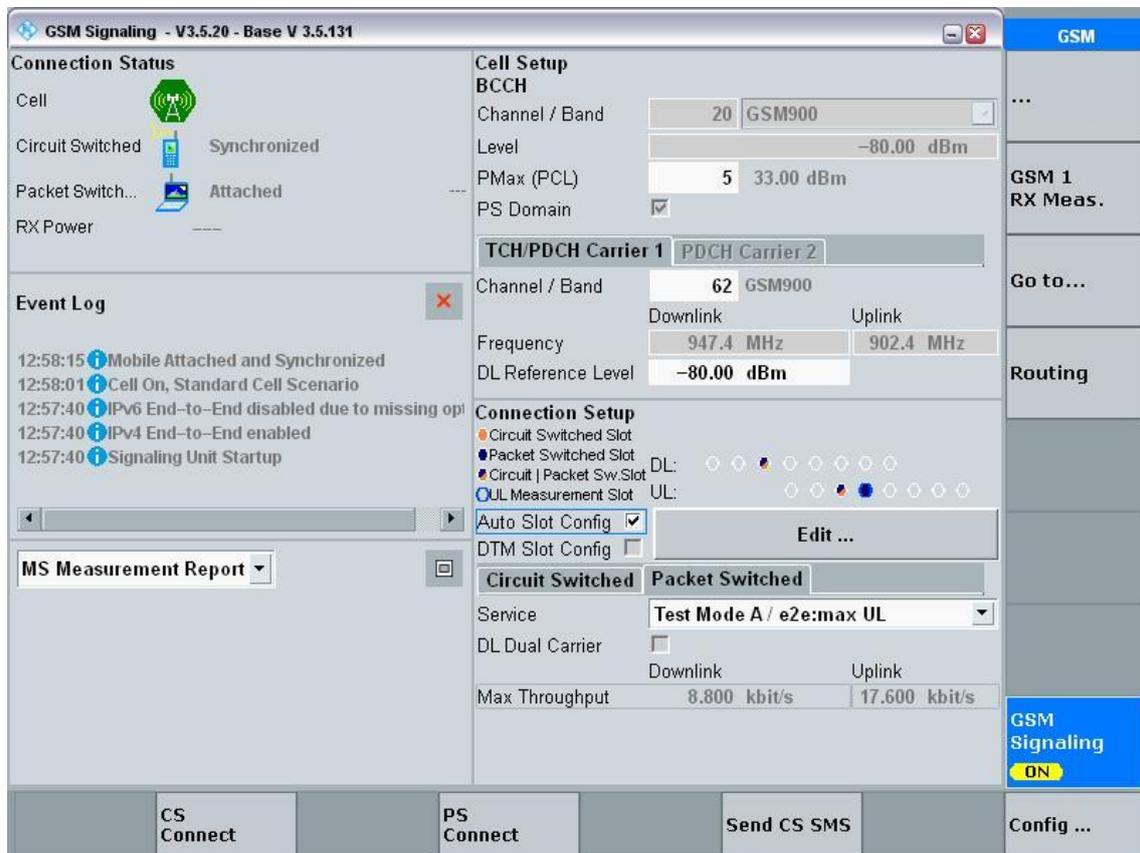


Figura 4.12. Modem 3G reconocido en la célula GSM.

Para empezar a transmitir paquetes el dispositivo móvil debe establecer la comunicación definitivamente conectándose a la red. (figura 5.14)



Figura 4.13. Establecimiento de una comunicación inalámbrica a través de GSM.

5. Resultados

Para comprobar que la comunicación se ha realizado correctamente lo que debe ocurrir es que se reciba en nuestro servidor web los datos recogidos por los sensores.

Para este fin como aún no está diseñada la aplicación web que nos posibilite una interfaz gráfica hemos reutilizado la diseñada para el proyecto MotoUPCT con el fin de que los resultados queden lo más estéticos posibles.

Esta aplicación nos proporciona una interfaz gráfica como la que se muestra en la figura 5.1 donde nosotros podemos introducir el número de puerto del cual queremos escuchar y asignarle un nombre al archivo .txt donde se guardaran los datos recogidos por los sensores.

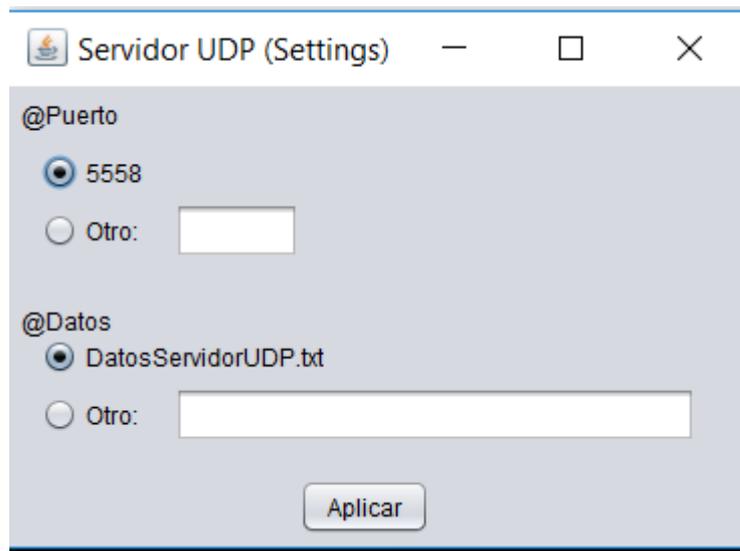


Figura 5.1. Interfaz gráfica del servidor [2]

Para poder recibir datos debemos antes abrir un puerto que este libre del router, para ello deberemos meternos en la configuración de router y abrir un puerto asignando que vamos a utilizar el protocolo UDP. En nuestro caso hemos usado el puerto 1704.

Una vez configurado el router ya podemos poner en la aplicación de la figura 5.1 el número de puerto del cual vamos a escuchar y le asignamos un nombre para poder identificar de cuando son esos datos, por ejemplo, prueba22_31_10.txt

```
( 2018/10/31 11:04:04:567 ): $NKGLL,3851.39695,N,09447.98799,W,100402,V,N*5F
( 2018/10/31 11:04:04:586 ): $NKHDG,175.79,,,*71
( 2018/10/31 11:04:04:595 ): $NKRMC,100402,V,3851.39695,N,09447.98799,W,0.00,0.0,311018,0.0,E,N*39
( 2018/10/31 11:04:04:603 ): $RPPXS,954026627151,6,0,0,0,0,0,0,0,0,0,150*61
( 2018/10/31 11:04:04:629 ): $NKHDG,175.79,,,*71
( 2018/10/31 11:04:04:637 ): $NKGLL,3851.39695,N,09447.98799,W,100403,V,N*5E
```

Figura5.2. Ejemplo de información recibida de los sensores

De los resultados obtenidos podemos observar que vienen especificados con el protocolo NMEA 0183, el cual sigue el mismo patrón a la hora de expresar los datos. En el anexo A.6 se explica cómo es esa estructura y donde podemos buscar más información sobre este protocolo.

La información que nos ofrecen los sensores es la siguiente:

En la primera fila encontramos GLL que significa posición geográfica latitud-longitud y la figura 5.3 muestra el significado de cada valor.

GLL Geographic Position – Latitude/Longitude

```

      1      2 3      4 5      6 7
      |      | |      | |      | |
$--GLL, llll.ll, a, yyyyy.yy, a, hhmmss.ss, A*hh

```

- 1) Latitude
- 2) N or S (North or South)
- 3) Longitude
- 4) E or W (East or West)
- 5) Time (UTC)
- 6) Status A - Data Valid, V - Data Invalid
- 7) Checksum

Figura 5.3. Identificador de sentencia GLL [34]

Para los demás mensajes también deberíamos buscar sus identificadores para saber el significado de cada variable y son los siguientes:

HDG Heading – Deviation & Variation

```

      1  2  3 4  5 6
      |  |  | |  | |
$--HDG, x.x, x.x, a, x.x, a*hh

```

- 1) Magnetic Sensor heading in degrees
- 2) Magnetic Deviation, degrees
- 3) Magnetic Deviation direction, E = Easterly, W = Westerly
- 4) Magnetic Variation degrees
- 5) Magnetic Variation direction, E = Easterly, W = Westerly
- 6) Checksum

Figura 5.4. Identificador de sentencia HDG [34]

RMC Recommended Minimum Navigation Information

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
| | | | | | | | | | |
$--RMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyy.yy,a,x.x,x.x,xxxx,x.x,a*hh
```

- 1) Time (UTC)
- 2) Status, V = Navigation receiver warning
- 3) Latitude
- 4) N or S
- 5) Longitude
- 6) E or W
- 7) Speed over ground, knots
- 8) Track made good, degrees true
- 9) Date, ddmmyy
- 10) Magnetic Variation, degrees
- 11) E or W
- 12) Checksum

Figura 5.5. Identificador de sentencia RMC [34]

6. Conclusiones y líneas futuras

6.1. Conclusiones

Para concluir este TFG vamos a hacer un resumen de todo lo que hemos realizado para después sacar nuestras conclusiones.

En este proyecto hemos realizado un enlace de comunicaciones bidireccional de tres maneras distintas para comunicar un barco autónomo con un servidor remoto situado en la universidad. La comunicación ha sido realizada de tres formas diferentes, mediante la red Wifi, mediante la red pública y mediante una red privada generada con el CMW500 R&S.

La comunicación vía Wifi fue únicamente para hacer las primeras pruebas y toma de contacto con los instrumentos y aplicaciones.

La comunicación mediante la red privada usando un modem 3G con una SIM de Vodafone ha sido compleja la fase de instalación del modem en la Raspberry y los parámetros de configuración para que funcionase con el software de recepción de datos funcionando también.

El ultimo método para la comunicación se ha realizado con el CMW500 creando nuestra propia célula GSM.

Con estos tres métodos de comunicaciones hemos comprobado que se creaba un enlace de comunicación entre la RPI situada en el barco y el servidor remoto.

Como conclusión de este proyecto podemos decir que el enlace vía Wifi no es válido para el uso que se le quiere dar como es la monitorización de un barco puesto que el rango de funcionamiento es de unos metros.

El uso de la red privada es una buena opción pues se consigue comunicación a distancias bastante grandes y sería útil para realizar las primeras pruebas en la dársena del puerto de Cartagena.

Pero si lo que queremos es tener una comunicación a la mayor distancia posible es conveniente usar la comunicación con el modem 3G y la Sim de la red pública puesto que es la que mayor cobertura nos va a dar.

Como conclusión personal sobre el proyecto estoy muy contento de poder haber trabajado con material tan costoso como es el CMW500 y poder haber probado todas sus funciones con libertad, oportunidad que no todo el mundo tiene.

6.2. Líneas futuras

Para el futuro cercano se deberán realizar pruebas en el entorno real de la dársena de Cartagena, las cuales no se han podido realizar aun porque el casco del barco aún no se ha terminado.

También se debería de probar a utilizar otras tecnologías más modernas como puede ser LTE o incluso 5G.

EL fin último de este proyecto se concluiría con la fabricación de una embarcación autónoma con las capacidades y requisitos que exige la competición microtransat.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.microtransat.org/index.php>
- [2] PFCs de años anteriores.
Implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de una moto de carreras. María Belén Pérez Muñoz
Desarrollo de una aplicación web de telemetría para el control de una moto de competición. Víctor Huéscar López
- [3] <https://stackify.com/telemetry-tutorial/>
- [4] Carden, F., Jedlicka, R. P., Henry, R., Telemetry Systems Engineering, 2002 Artech House.
- [5] <https://compumundohipermegaredes.wordpress.com/2015/03/13/que-es-la-telemetria/>
- [6] <http://mecfunnet.faii.etsii.upm.es/Xitami/webpages/reguwatt.html>
- [7] Robinson, W., Improvement in Electric Signaling Apparatus for Railroads, U.S. Patent No.130661, Brooklyn, NY, August 20, 1872.
- [8] https://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_de_vía
- [9] United States National Weather Service, Division of the National Oceanic and Atmosphere Administration, January 3, 2001.
- [10] <https://ideasecundaria.blogspot.com/2012/07/la-telemetria-de-f1-destripada.html>
- [11] <http://www.gadgets.com/noticias/telemetria-formula-1/>
- [12] Pascual García, J., Molina García-Pardo, J.M., Juan Llácer, L., Sistemas de Comunicaciones Móviles, Universidad Politécnica de Cartagena, 2010.
- [13] <https://omicrono.elespanol.com/2018/02/intel-5g-juegos-olimpicos/>
- [14] <https://www.gemalto.com/brochures-site/download-site/Documents/tel-5G-networks-QandA-es.pdf>
- [15] <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/framework/network-programming/using-udp-services>
- [16] CMW_DataApplicationUnit_UserManual_V3-2-11
- [17] R&S CMW500 Wideband Radio Communication Tester, CMW_GSM_UserManual_V3-2-10.
- [18] R&S CMW500 Wideband Radio Communication Tester RF production testing.
- [19] <https://www.thefanclub.co.za/how-to/how-setup-usb-3g-modem-raspberry-pi-using-usbmodeswitch-and-wvdial>

- [20] <http://www.bcendon.com/el-origen-del-iot/>
- [21] <http://www.jtech.ua.es/dadm/restringido/java/sesion01-apuntes.pdf>
- [22] https://www.xataka.com/robotica-e-ia/rolls-royce-presenta-finlandia-su-primer-ferry-autonomo?utm_source=whatsapp&utm_medium=social&utm_campaign=botoneramobile
- [23] <https://interestingengineering.com/rolls-royce-partners-with-intel-to-build-autonomous-ships>
- [24] <https://sectormaritimo.es/la-omi-buques-autonomos>
- [25] http://www.spacedaily.com/reports/ACTUV_Sea_Hunter_Prototype_Transitions_to_Office_of_Naval_Research_for_Further_Development_999.html
- [26] https://www.waveinn.com/nautica-pesca/garmin-gps-19x/132234/p?utm_source=google_products&utm_medium=merchant&id_producto=525417&country=es&gclid=Cj0KCQiA3b3gBRDAARIsAL6D-N_XGLsWtllwMVSa3YBg-_PWz_JLZz_Eujens2tJnivkKKAkVfxBdh8aAt7xEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- [27] <https://www.azimutmarine.es/compas-h2183-de-estado-solido-para-nmea0183-2000.html>
- [28] https://www.waveinn.com/nautica-pesca/raymarine-dst800-analogic-triducer/578313/p?utm_source=google_products&utm_medium=merchant&id_producto=664741&country=es&gclid=Cj0KCQiA3b3gBRDAARIsAL6D-N-kr69k3QAqpmY34L-RedFtea5ZxxrhMzGIAeF4D1VM2T1qDuwU5gaAjGZEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- [29] <https://www.nauticaavinyo.com/sistema-viento-raymarine-i60-256.html>
- [30] https://www.waveinn.com/nautica-pesca/raymarine-sea-talk-1-to-sea-talk-ng-conversor-kit/578585/p?utm_source=google_products&utm_medium=merchant&id_producto=665050&country=es&gclid=Cj0KCQiA3b3gBRDAARIsAL6D-N8B_kToSMuOXNaY2_eXKdzQxN9XJthe7D-yTndJk53NYqagtANjxd8aArp3EALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- [31] <https://omicro.no.es/2018/10/barcos-autonomos>
- [32] <http://www.canaryports.es/texto-diario/mostrar/1282466/rolls-royce-finferries-ensayan-exito-primer-ferry-totalmente-autonomo-mundo>
- [33] <https://www.amazon.es/Jago-ETBM03-1-fueraborda-el%C3%A9ctrico-propulsora/dp/B00JKL7512>
- [34] <https://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf>

Anexo

A.1. Modos de funcionamiento del R&S CMW500.

Nada más poner en marcha el dispositivo nos aparece una ventana como la que se muestra a continuación (figura 4.15), en la que podemos ver que nos da la opción de elegir si queremos que el CMW funcione como analizador de espectros o como generador de señales de radiofrecuencia de un sistema general o para un estándar específico.



Figura A.1. Primera pantalla del R&S CMW500

➤ ANALIZADOR

Cuando seleccionamos el modo analizador de espectros obtenemos (figura 4.16)

- General Purpose RF: permite medir parámetros de la señal de radiofrecuencia generada por el instrumento cuando actúa como generador de señales.
- GSM: para analizar el enlace ascendente. El modo RX Measurement capturo los parámetros característicos en recepción como el BER. Con el modo 'multievaluation' se realizan análisis múltiple en tx y rx, permitiendo visualizar los datos en todas las modulaciones y espectros pudiendo extraer resultados estadísticos.
- LTE: utiliza el modo Extended BLER para evaluar las características y el rendimiento del dispositivo bajo prueba, a niveles bajos de potencia. Para ellos envía datos y dependiendo de los ACK y NACK recibidos calcula el BLER.

- WCDMA FDD UE: se pueden representar graficas del análisis de transmisión y de recepción a partir del BER, BLER y DBLER, para obtener el porcentaje de error de la comunicación.
- WIMAX y WLAN: el parámetro PER es sobre el que se hace el análisis en función de las tramas transmitidas.

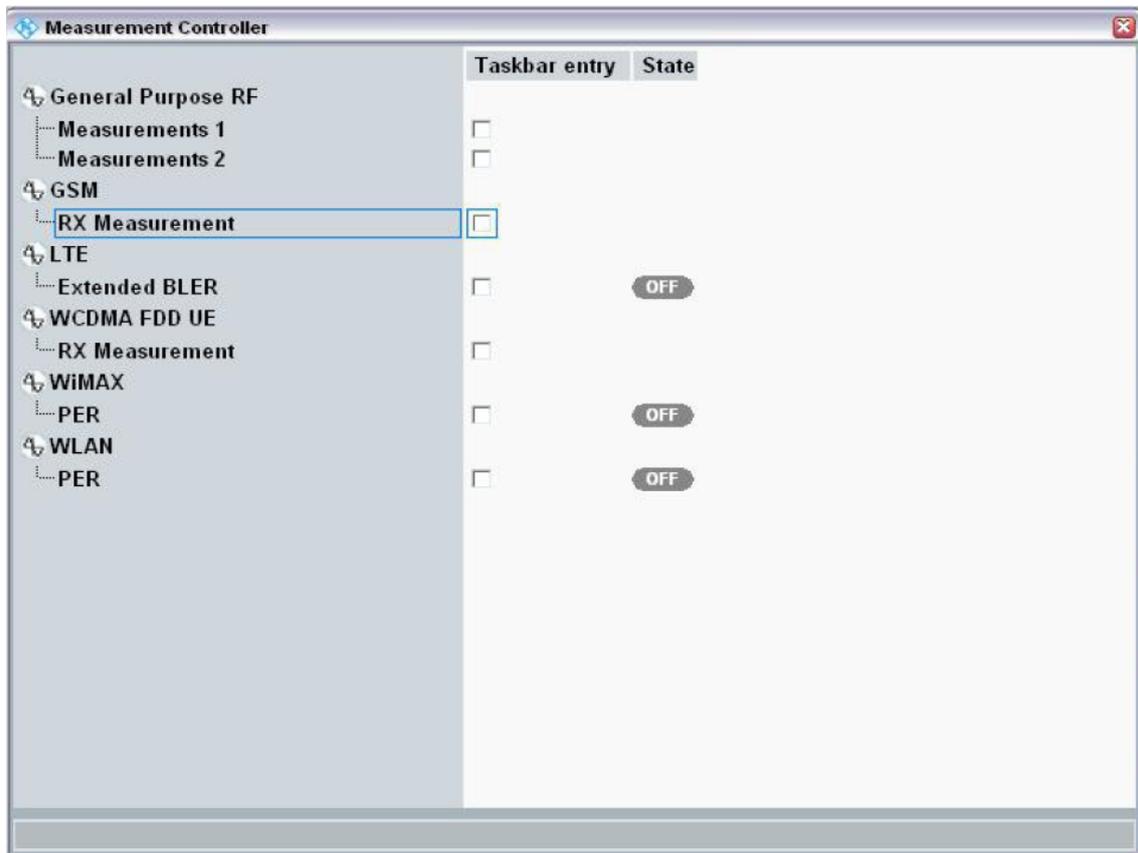


Figura A.2. CMW500 como Analizador

➤ GENERADOR DE SEÑALES

Cuando seleccionamos el modo Signal Gen obtenemos (figura 4.17)

- General Purpose RF: Actúa como generador genérico de señal, el cual puede generar una señal de frecuencia constante o variable según la configuración que se realice. También se puede modular una señal a partir de una forma de onda. Tenemos la opción de crear dos generadores de manera simultánea.
- GSM: Este apartado nos permite que el CMW500 funcione como una estación base generando una célula de comunicación en el estándar GPRS, donde se pueden realizar llamadas por conmutación de circuitos y enviar datos por conmutación de paquetes.

- LTE: Se crea una estación base sobre el estándar LTE.
- WCDMA FDD UE: Se crea una estación base sobre el estándar UMTS.
- WIMAX y WLAN: Se crea una comunicación sobre las tecnologías WLAN y WIMAX.

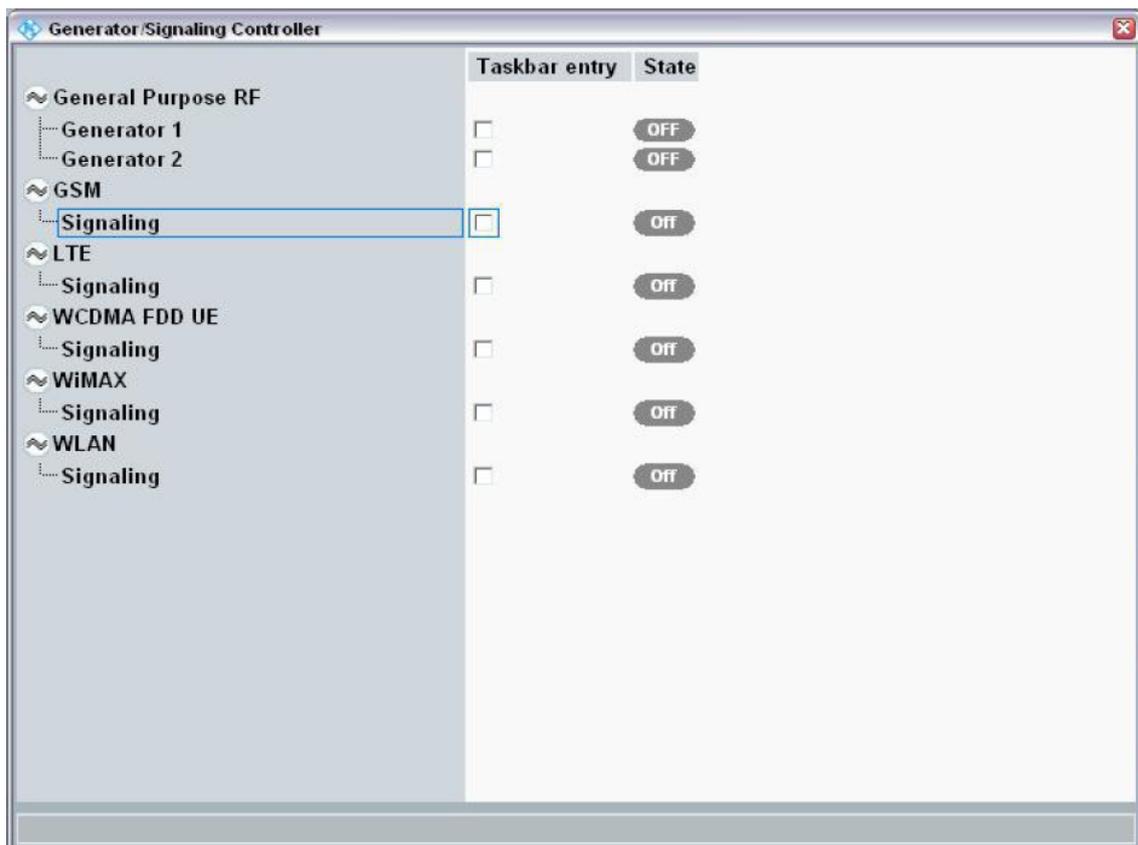


Figura A.3. CMW500 como Analizador

A.2. Funcionamiento software Humberto Martínez Barberá.

El software llamado Myplotter y creado por Humberto, profesor de la Universidad de Murcia, está desarrollado en Java sobre el sistema operativo Linux.

El funcionamiento de este es recoger los datos a través del adaptador para raspberry Pi, PiCAN 2 para después procesar la información que llega y representarla. Como podemos ver en la figura A.4 se muestra el mapa de navegación y como aspectos básicos en la esquina superior izquierda vemos si la antena GPS tiene cobertura luego en

los laterales del mapa podemos ver distinta información sobre los sensores como velocidad, viento...

En la barra vertical izquierda podemos ver también que se pueden mostrar diferentes datos como el GPS, el AIS que es el sistema que tienen los barcos para reconocer a otros barcos que puedan tener cerca, información de los sensores representado de forma gráfica....



Figura A.4. Software cedido por Humberto Martínez Barberá.

A.3. Java

Java es un lenguaje de programación creado por Sun Microsystems, (empresa que posteriormente fue comprada por Oracle) para poder funcionar en distintos tipos de procesadores. Su sintaxis es muy parecida a la de C o C++, e incorpora como propias algunas características que en otros lenguajes son extensiones: gestión de hilos, ejecución remota, etc.

El código Java, una vez compilado, puede llevarse sin modificación alguna sobre cualquier máquina, y ejecutarlo. Esto se debe a que el código se ejecuta sobre una máquina hipotética o virtual, la Java Virtual Machine, que se encarga de interpretar el código (ficheros compilados .class) y convertirlo a código particular de la CPU que se esté utilizando (siempre que se soporte dicha máquina virtual).

Java es un lenguaje de programación orientada a objetos. [21]

A.4. Código Router Virtual

```
package vnasserver;

/*
 * To change this license header, choose License Headers in Project Properties
 * To change this template file, choose Tools | Templates
 * and open the template in the editor.
 */

import java.net.*;
import java.io.*;
import java.util.*;
/**
 *
 * @author Alejandro
 */
public class VnasServer {
    public static void main(String[] args) throws IOException {
        int port=1703; //Puerto de escucha
        byte []datos = new byte[1024]; //tamaño del datagrama
        DatagramSocket socket; //Creamos el socket de recepcion
        socket = new DatagramSocket(port);
        DatagramSocket enviador;
        enviador = new DatagramSocket();
        System.out.println("Servidor en escucha.");

        while(true){
            DatagramPacket dgp = new DatagramPacket(datos, datos.length);
            socket.receive(dgp);
            byte[] recibido = dgp.getData();
            System.out.println(recibido);
            System.out.println("Mensaje recibido");
            DatagramPacket dgp_2 = new DatagramPacket(recibido, recibido.length,
                InetAddress.getByName("212.128.44.153"), 1704);
            enviador.send(dgp_2);
        }
    }
}
```

Figura A.5. Código de la aplicación router virtual.

A.5. Sistemas de comunicaciones móviles

Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles

Los primeros sistemas de comunicaciones móviles aparecieron en el siglo XX a mediados de los 40, con la aparición del primer servicio público de telefonía móvil en 1946. Compuesto por un transmisor de alta potencia y una torre muy alta, transmitía con su máxima potencia para ocupar la mayor extensión posible del terreno.

En este primer sistema de comunicaciones no se tenía en cuenta la reutilización de frecuencias, este pensamiento aparecería más tarde en 1947, por parte de un ingeniero de los laboratorios Bell, Douglas H Ring. La reutilización de frecuencias suponía la construcción de una red celular en la que habría que dividir el espectro disponible en

varios canales, limitar la potencia del transmisor, para poder instalar más extendiendo así la cobertura por el territorio, aumentando la capacidad. El fundamento de este sistema celular con reutilización de frecuencias, se basaba en utilizar las mismas frecuencias que otro transmisor pero que estuviese lo suficientemente alejado, para que no se interfiriesen. Este tipo de sistemas empezó a instaurarse en los 70. [12]

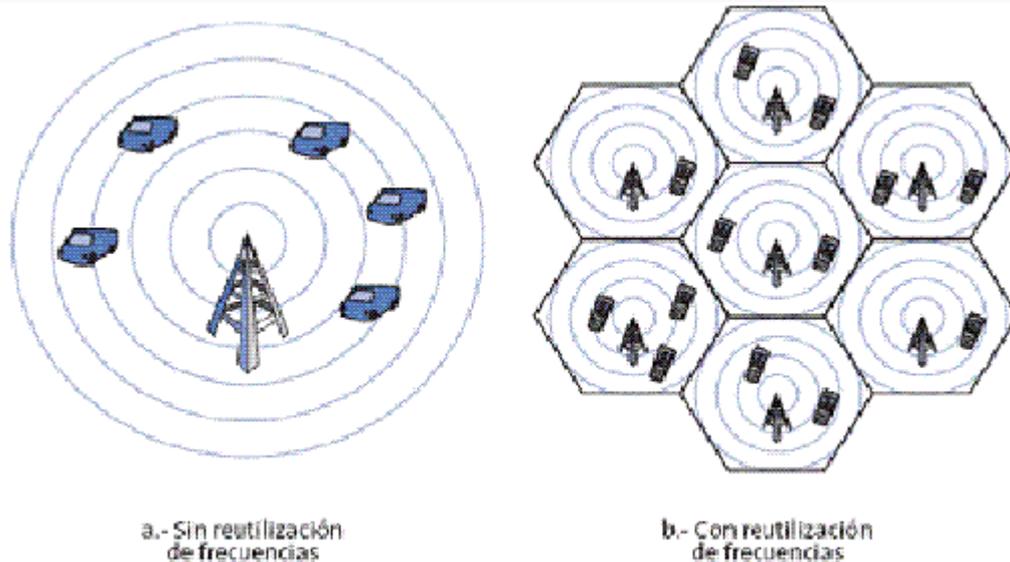


Figura A.6. Red sin reutilización de frecuencias Vs. Red con reutilización de frecuencias. [12]

A partir de los de los 80 aparecieron los sistemas de primera generación. Cada país creó el suyo propio como por ejemplo NMTS escandinavo, AMPS estadounidense, el C alemán o el TACS británico.

Una operadora japonesa NTT en 1979, instaló la primera red celular de telefonía móvil pública, a la cual se llamó sistema NAMTS. Esta red no soportaba el traspaso de conexión, cosa que sí se consiguió en una red instalada en Australia en el 81.

A finales de los 80, que estos sistemas de comunicaciones de primera generación no iban a ser suficientes para dar servicio a la demanda de comunicaciones móviles posteriores, así que se empezaron a crear los sistemas de segunda generación, con una digitalización de la comunicación móvil.

Este cambio produjo la creación de un estándar único de un sistema de comunicaciones móviles llamado GSM, puesto que en Europa las fronteras entre los países dejaban de existir y no tenía sentido tener sistemas distintos. Este sistema debía dar servicio a un gran número de abonados, con cobertura internacional y, además, estar abierto a la interacción con las futuras redes avanzadas de telecomunicaciones.

Los primeros que se estudió fue la banda de frecuencias que era reservada para el uso de GSM, una estructura celular digital, un sistema de acceso múltiple TDMA de banda estrecha, un algoritmo de codificación de fuente de baja velocidad binaria y señalización avanzada.

El sistema GSM empezó a funcionar de manera comercial en 1992 después de que en 1990 se sentaran las especificaciones GSM Phase-1 por el ETSI (European Telecommunication Standards Institute).

El sistema GSM fue avanzando con el paso del tiempo gracias a las mejoras introducidas HSCSD y GPRS, con los que se podían alcanzar grandes tasas de transmisión y con el segundo se pasó a la conmutación de paquetes.

Los sistemas 3G fueron dieron paso a mayores velocidades de transmisión de datos, mayor capacidad en las redes y más servicios de red avanzados.

Actualmente estamos inmersos en las redes de 4G que se definen como un estándar 'all IP', que nos permiten un gran uso de servicios multimedia sin restricción de la movilidad.

EL futuro ya no es tan incierto puesto que no tardaran en llegar las redes de 5G las cuales prometen tener unas velocidades extremadamente altas. Intel ha realizado en 2018 una prueba que ha tenido unos resultados muy satisfactorios en los juegos olímpicos de invierno de Korea del Sur donde ha sido capaces transmitir videos en alta resolución y también en realidad virtual.[13]

Estándar de comunicaciones móviles

En este apartado vamos a hablar en particular sobre cada uno de los sistemas de comunicaciones móviles más a fondo.

Sistemas de comunicaciones móviles 2G

La red GSM proporcionaba todas las ventajas de los sistemas digitales:

Ventajas:

- Calidad en la señal de audio.
- Robustez frente a la interferencia co-canal y de canal adyacente.
- Transmisión conjunta de voz y datos.
- Técnicas de control de errores y mecanismos de ecualización.
- Nuevas técnicas de acceso al medio.
- Técnicas avanzadas de cifrado.
- Servicios suplementarios de alto nivel (son servicios del tipo desvío de llamada o restricción de llamadas).
- Señalización digital.

Desventajas:

- Retardo adicional en la transmisión provocado pos las técnicas de procesado a la que es sometida la señal.

- Sensibilidad a la propagación multicamino, produciendo ISI. Se puede solucionar mediante técnicas de ecualización del canal y técnicas de corrección de errores.
- Necesidad de redundancia.

Arquitectura de Red.

-Subsistema de usuario

- Mobile Station Terminal Equipment (MS): estación móvil mediante la que el usuario se conecta a la red GSM. Se clasifican según la potencia transmitida, posee un número identificativo (IMEI, International Mobile Equipment Identity).

- Subscriber Identity Module (SIM): es una tarjeta inteligente que consta de procesador y memoria. Su principal función es guardar el número que identifica al usuario (IMSI) para identificar a este en la red, además de realizar tareas de cifrado para la autenticación y encriptado/desencriptado del tráfico transmitido/recibido. El número de teléfono para llamar y ser llamado es MS-ISDN. Posee clave de identificación personal, PIN y de desbloqueo, PUK.

El IMSI es secreto por lo que se intenta transmitir lo menos posible vía radio, por lo que para identificar a un móvil llamado o que se desea llamar, se emplea un número llamado TMSI (“Identidad Temporal del Subscriptor Móvil”). Cuando se le asigna el TMSI a la MS esta lo guarda en la SIM. Este número solo tiene significado en el área local (LA) en que se encuentre. Cada usuario debe conocer en que LA se encuentra, información que proporciona el número LAI (“Identidad del Área de Localización”) que se guarda en la SIM. La SIM posee también claves (Ki, Kc) que permiten identificar al usuario y cifrar el tráfico respectivamente.

-Subsistema de estaciones base(BSS)

- Base Transceiver Station (BTS): contienen las antenas que transmiten y reciben desde la estación móvil, están situadas generalmente en el centro de la celda, forman las células en las que se divide el territorio. Poseen entre 1 y 16 canales de RF. Se encargan de la modulación y demodulación de las señales recibidas y de la introducción de códigos de corrección de errores.

- Base Station Controller (BSC): monitoriza y controla varias BTS. Se encarga del traspaso de llamadas (“handover”) cuando controla ambas BTSs (destino y origen), asignación de un nuevo canal si el móvil cambia de célula. Varias BSC forman un área de localización, LA.

-Subsistema de la red de Conmutación (NSS).

- Mobile Services Switching Center (MSC): se encarga de la conmutación y enrutamiento de las llamadas. Centro neurálgico de búsqueda de un móvil cuando es llamado, además de centro de encaminamiento de las llamadas provenientes de un MS. Se encarga de llevar a cabo el “handover” entre BTSs pertenecientes a distintas BSCs, de reasignar frecuencias a las BTSs de sus LA para cubrir periodos de alta demanda y de la actualización de la posición de las MS según la indicación de las propias MS. Cada MSC posee su propio VLR.

- Gateway MSC: es un MSC cuya misión es la de conectar a la red móvil con la red de telefonía fija PSTN o RDSI. Lleva a cabo tareas de enrutamiento y a ella se conectan varios MSC.

- Operation and Maintenance Center (OMC): maneja los mensajes de error provenientes de la red, controla la carga de tráfico del BSC y BTS y se encarga de la configuración del BTS a través del BSC.

- Home Location Register (HLR): almacena la identidad y los datos de abonados del área del (G)MSC. Cuando un usuario se da de alta en la red se abre una entrada permanente para este usuario que solo se borra si se da de baja. Cada usuario posee una serie de datos propios permanentes y de datos temporales.

Datos permanentes: IMSI, MS-ISDN, clave de autenticación (Ki) y servicios suplementarios contratados.

Datos variantes: área de localización actual (LAI), VLR actual/MSC actual (MSRN), la clave de sesión Kc (cifrado), el número RAND/SRES (autenticación), los SMS en espera de envío los datos de restricción de roaming.

- Visitor Location Register (VLR): cuando un móvil entra en una de las LA de un MSC debe comunicarlo a la red, y en ese momento se le abre una entrada en el VLR. Por tanto, tendrá los datos de los MS localizados actualmente en el área de localización. Datos permanentes son una copia de los del HLR (IMSI, MS-ISDN, servicios suplementarios). Datos temporales: los generados por el VLR son el TMSI y el MSRN (MSC actual), y los recogidos de otros elementos son el LAI, la Kc y el RAND//SRES.

- Authentication Center (AUC): centro de autenticación conectado a un MSC. Posee el IMSI y la clave Ki. Se encarga de generar la clave Kc y el número RAN/SRES. Cuenta con algoritmos de cifrado para generar dichas claves y números.[12]

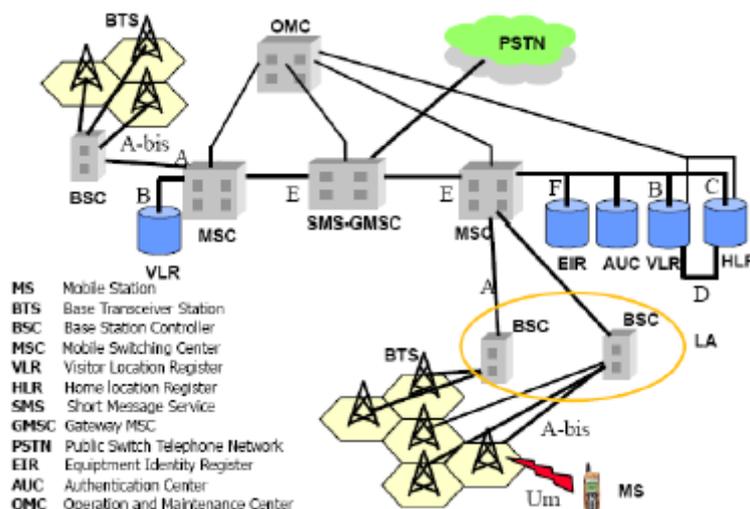


Figura A.7. Arquitectura de Red GSM [12]

Sistemas de comunicaciones móviles 2.5G

Los sistemas de GPRS es un sistema basado en la red de GSM. Las principales diferencias son:

- Es un sistema basado en conmutación de paquetes.
- El sistema GPRS es apropiado para todas aquellas aplicaciones de datos en las que:
 - 1) Exista un tráfico intermitente, es decir, transmisiones consistentes en ráfagas de información.
 - 2) Existan transmisiones frecuentes de pequeñas cantidades de información.
 - 3) Existan transmisiones poco frecuentes de gran cantidad de información.

- Ventajas:

- 1) Permite conmutación de paquetes.
- 2) Permite agrupar hasta 8 ranuras.
- 3) Mejora el régimen binario por ranura de HSCSD.
- 4) No es necesario el cambio en el interfaz de radio.

- Desventajas:

- 1) Número de usuarios aumenta exponencialmente
- 2) Nuevos servicios requieren un mayor número de recursos por usuario
- 3) La variabilidad del tráfico aumentará
- 4) El espectro radio asignado a GSM es limitado

- La estructura de la red si cambia ya que es necesario cambiar la red fija enrutamiento para poder gestionar los paquetes de datos, con lo cual es necesario añadir nuevos nodos. Estos nuevos nodos son PCU ("Packet Control Unit"), SGSN ("Serving GPRS Support Node"), GGSN ("Gateway GPRS Support Node"), GPRS "Backbone" y cada uno de ellos se corresponde en la red original con:

PCU->BSC

GGSN, es el Gateway-MSC de la red original de GSM.

SGSN->MSC, HLR, VLR

GPRS "backbone" es la red de GPRS, es la arquitectura compuesta por los elementos PCU, SGSN,GGSN.[12]

Sistemas de comunicaciones móviles 3G

W-CDMA

Es un estándar de comunicaciones desarrollado para UMTS que utiliza la técnica d acceso al medio CDMA, la cual permite que los usuarios compartan una misma banda

de frecuencias en el mismo intervalo de tiempo asignándole a cada uno de ellos un único código. [12]

Usa dos modos de operación diferentes:

- TDD: los enlaces ascendente y descendente usan la misma banda de 5MHz, por tanto, usan TDMA para distinguir a un usuario de otro en el mismo canal.
- FDD: el enlace ascendente y el descendente utilizan canales d diferentes y separados 190MHz.

Arquitectura de UMTS

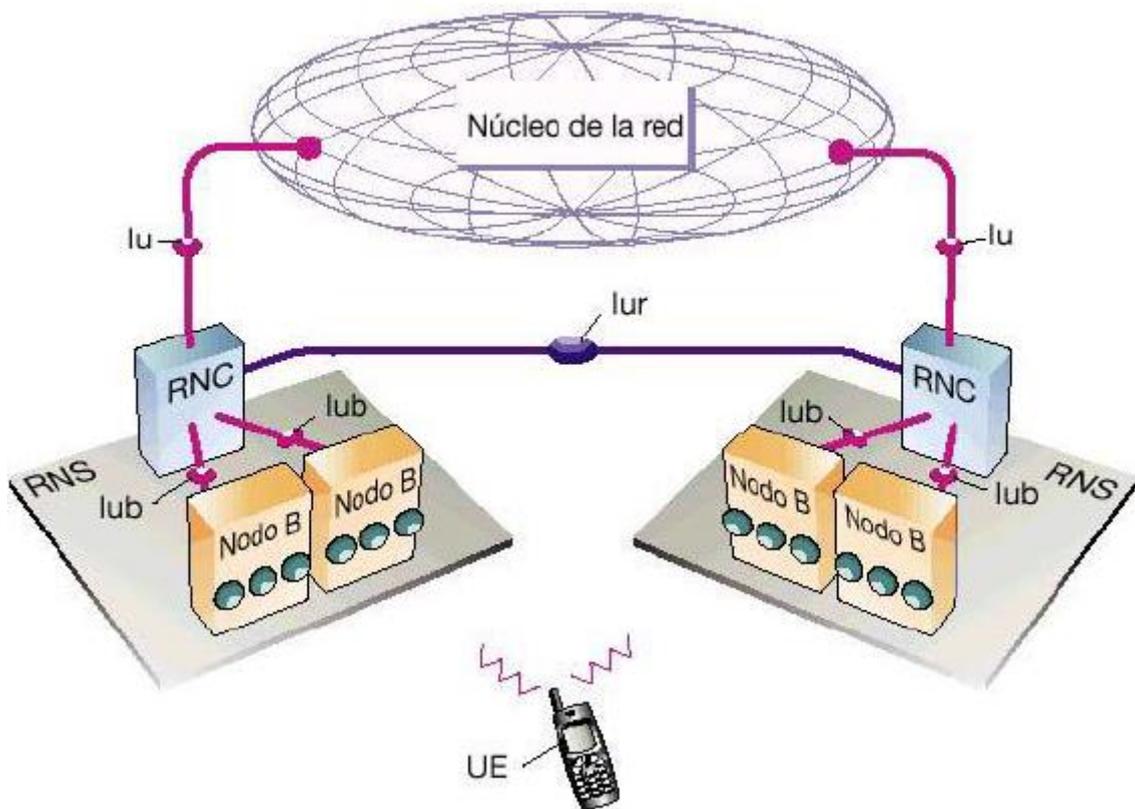


Figura A.8. Esquema red UMTS.

RNC (Radio Network Controller): controla a uno o varios nodosB. El RNC se conecta con el MSC mediante la interfaz luCs o con un SGSN mediante un luPs las funciones que ejecuta son:

- Manejo de los recursos de transporte de la interfaz lu
- Control de los recursos lógicos O&M del Nodo B
- Manejo de la información del sistema y de los horarios de la información del sistema
- Manejo de tráfico en los canales comunes.

- Control de admisión
- Otros.

Nodo B: es el equivalente a la BTS de GSM. Puede dar servicio a una o más células, sin embargo, las especificaciones hablan de una sola célula por Nodo B.

Dentro de las funciones que ejecuta están:

- Implementación lógica del O&M
- Mapeo de los recursos lógicos del Nodo B en los recursos hardware
- Transmisión de los mensajes de información del sistema de acuerdo con el horario determinado por el RNC
- Control de potencia de lazo cerrado en el enlace de subida
- Otros.

MSC (Mobile Switching Center): es la pieza central de una red basada en conmutación de circuitos. El mismo MSC es usado tanto por el sistema GSM como por UMTS, es decir que la BSS y el RNS se pueden conectar con el mismo MSC.

Las funciones principales del MSC son:

- Asignación dinámica de recursos
- Coordinación en la organización de las llamadas de todos los móviles en un MSC
- Registro de la ubicación
- Manejo de procesos de Handover
- Manejo de los parámetros de encriptación.
- Control y operación de la cancelación de eco.

Sistemas de comunicaciones móviles 4G

La red de LTE está compuesta principalmente por 4 elementos: el UE (User Equipment), el EUTRAN (donde se encuentran los eNodoB, los cuales sirven de puente entre los UEs y la EPC), la EPC, que también incluye al SAE, y el dominio de servicios. El eNodoB realiza funciones básicas como los anteriores, tales como la emisión y recepción con destino y desde el UE, así como el cifrado y descifrado de las comunicaciones con el UE y la compresión y descompresión de las cabeceras IP.

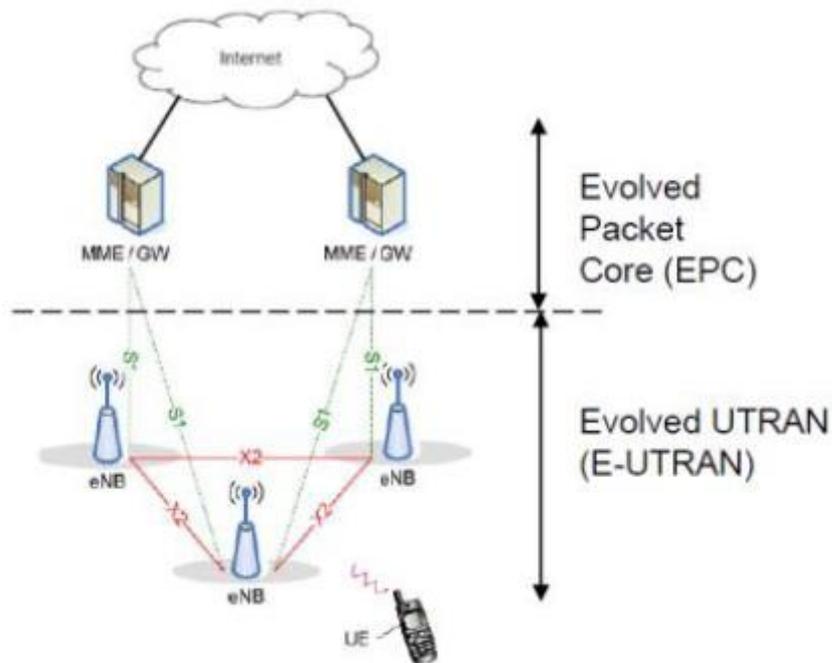


Figura A.9. Esquema red 4G.

A diferencia de los NodosB en 3G, los eNodosB también realizan las funciones que antes realizaban los RNC, que tienen que ver sobre todo con gestión de los recursos radio y gestión de movilidad. Por tanto, al eliminar un elemento de la red con respecto a 3G, la red se simplifica. Más aún si lo comparamos con la BTS de 2G.

El EPC es una red completamente basada en conmutación de paquetes, mientras que la utilizada en 3G también tenía una parte que era conmutación de circuitos y en 2G era enteramente de conmutación de circuitos. Dentro del EPC encontramos:

- HSS: es una base de datos que da servicio a todas las entidades de control de la red. Combina el HLR y el AuC de los sistemas anteriores.
- EIR: el cual almacena los IMEIs de los terminales.
- S-GW: cuya función es principalmente la de encaminar datos de la red radio hasta la EPC.
- PCRF: está formada por la PDF y la CRF (elementos presentes en 3G) y se encarga de decidir la asignación de recursos y de asignar una regla de tarificación a cada flujo de datos.
- P-GW: es el nodo a través del cual se accede a Internet.
- MME: es el encargado de realizar todas las funciones de control del núcleo de red (EPC).

Sistemas de comunicaciones móviles 5G

La red inalámbrica de la próxima (quinta) generación va a abordar la evolución más allá del Internet móvil y va a alcanzar el IoT (Internet de las Cosas) masivo para comienzos de 2020. La principal evolución en comparación con 4G y 4.5G (LTE avanzado) de hoy en día es que más allá de las mejoras en la velocidad de los datos, los nuevos casos de uso del IoT y de comunicación crítica van a requerir nuevos tipos de rendimiento mejorado. Por ejemplo, la "baja latencia" es lo que provee interactividad en tiempo real para los servicios que utilizan la nube: esto es clave para el éxito de los vehículos autónomos, por ejemplo. Además, el bajo consumo de energía es el factor que va a permitir que los objetos conectados funcionen por meses o años, sin la necesidad de ayuda humana.

A diferencia de los servicios del IoT actuales que comprometen el rendimiento para obtener lo mejor de las tecnologías inalámbricas de hoy en día (3G, 4G, WiFi, Bluetooth, Zigbee, etc.), las redes 5G se van a diseñar para brindar el nivel de rendimiento necesario para el IoT masivo. Van a habilitar un mundo conectado percibido como totalmente ubicuo.[14]

A.6. NMEA 0183

Los mensajes tienen una longitud máxima de 82 caracteres, en los cuales se incluye \$ carácter inicial.

Los siguientes 5 caracteres identifican al Talker (dos primeros) y el tipo de mensaje (tres siguientes).

Después de esto los siguientes campos están delimitados por comas y cuando hay campos no disponibles se deja en blanco

Para más información buscar en el manual del estándar NMEA 0183 en el siguiente enlace: <https://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf>