

# Software distribuido de comunicaciones entre vehículos marinos

Ismael Torrón Revestido<sup>(a)</sup>, Elías Revestido Herrero<sup>(a)</sup>, Francisco J. Velasco<sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup>Dep. Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Cantabria,  
Av. de los Castros, s/n, 39005 Santander

Email: ismael.torron@alumnos.unican.es, revestidoe@unican.es, velascof@unican.es

## Resumen

*En este artículo se especifican las motivaciones, el diseño y el desarrollo de un software distribuido de comunicaciones para vehículos marinos con fines de investigación y docentes, encargado de la conexión de 2 modelos a escala de vehículos marinos y un ROV con un equipo en tierra. En este trabajo, se sientan las bases del diseño del citado software para futuras modificaciones del mismo con la posibilidad de incorporar más vehículos, primando por la escalabilidad del mencionado sistema.*

**Palabras clave:** Vehículos marinos, experimentación remota, software distribuido, comunicaciones.

## 1. Introducción

La evolución de las redes inalámbricas ha aportado, gracias a su movilidad, la solución a los problemas de numerosas redes Ethernet cuyo denominador común era la exigencia de flexibilidad de uso. En el marco de las nuevas tecnologías, una poderosa herramienta son las redes de comunicación (Internet)[4], que constituyen un importante medio para organizar y dar soporte a la información.

En lo que se refiere a los criterios para establecer una clasificación entre entornos de experimentación, tanto para aplicaciones docentes como de investigación, se encuentran dos aspectos fundamentales: uno es la forma de acceder a los recursos de experimentación y otro es la naturaleza de los recursos disponibles. El primero es el llamado acceso local, es decir, la experimentación in situ con el propio recurso. Otra forma es el acceso remoto, lo que se conoce habitualmente como experimentación a través de Internet, donde no es necesaria la presencia física en la zona donde se opera [3]. Este trabajo corresponde a la segunda vía (acceso remoto) ya que los vehículos marinos a los que hace referencia este trabajo se controlan remotamente desde tierra. En el conjunto de los citados vehículos marinos se incluyen modelos físicos a escala, que son réplicas de buques de tamaño natural, diseñadas para ser autónomas y controladas a

distancia desde una estación base en tierra con el fin de realizar ensayos de buques marítimos [9, 10]. Las pruebas del modelo se realizan de forma que los buques modelo y los de tamaño natural presenten un comportamiento similar, de modo que los resultados del modelo puedan transferirse al buque de tamaño natural mediante un factor de proporcionalidad [6].

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de un software distribuido de comunicaciones para vehículos marinos, que sea capaz de gestionar las comunicaciones entre varios vehículos con la posibilidad añadir más unidades de los mismos, así como adquirir datos de todos los instrumentos embarcados, enviar datos a los actuadores y también de intercambiar datos entre vehículos, lo que se gestiona desde una estación base.

## 2. Red inalámbrica de vehículos marinos

En esta sección se describe la estructura de la red que permite el funcionamiento del sistema distribuido previamente mencionado, así como la conexión entre los modelos a escala de los vehículos marinos con el equipo en tierra para realizar la toma de datos.

### 2.1. Estándar empleado

El estándar que seguirán todos los equipos de red para realizar la comunicación será el IEEE 802.11n[5], también conocido como Wifi 4. Dicho estándar fue aprobado en el año 2009 e introdujo 2 principales técnicas para la mejora de las prestaciones de la transmisión, siendo estas:

- Uso de técnicas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), consistentes en realizar tanto envíos como recepciones a través de múltiples antenas de forma simultánea, logrando con ello el uso de varios flujos espaciales.
- Posibilidad de emplear canales de 40 MHz, mediante la unión de dos canales adyacentes del ancho de banda estándar (20 MHz).

Con estas mejoras logramos una velocidad máxima de 600Mbps, con un alcance máximo en exterior de unos 250 metros, cualidades que nos permitirán que el sistema distribuido diseñado funcione de forma correcta sin ser lastrado por las características de la red.

## 2.2. Topología de la red

La topología seleccionada para formar la red de este trabajo es el modo infraestructura o BSS (Basic Service Set), donde contamos con un router en tierra como elemento central de la misma, encargado de permitir la comunicación entre el equipo en tierra y los PCs (Personal Computer) industriales localizados en cada uno de los modelos a escala de los vehículos marinos.

Dichos PCs por su parte cuentan con un punto de acceso en modo cliente, el cual se encargará de dotar de conectividad inalámbrica a dichos equipos, permitiendo su conexión con el router en tierra para poder acceder a la red. En la figura 1 se especifica un diagrama de la propia topología de la red.

## 2.3. Protocolo de transporte

El protocolo de transporte empleado para realizar la transferencia de los datos entre los equipos finales es el protocolo TCP o Transmission Control Protocol. Este protocolo nos proporciona un servicio de transporte fiable, garantizando la entrega sin errores o duplicados y empleando mecanismos de control de flujo y de errores, estando orientado a la conexión. Para realizar el establecimiento de la misma se utiliza el protocolo de "saludo a 3 vías" mostrado en la figura 2.

Logrando con esto evitar problemas a la hora de abrir la conexión relacionados con la pérdida o duplicidad de paquetes. De igual manera, a la hora de realizar el cierre de la conexión se empleará un intercambio de mensajes similar. La razón de hacer uso de este protocolo de transporte es evitar la pérdida tanto de información recibida desde los instrumentos como de los comandos hacia los actuadores de los vehículos.

## 3. Componentes de la red

En esta sección se especificarán los componentes que formarán la red de vehículos marinos, dividida en 2 partes principales: La especificación de los vehículos y la especificación de los instrumentos.

### 3.1. Vehículos marinos

Los modelos a escala que se han utilizado en el desarrollo del proyecto han sido un turboferry de alta velocidad, un remolcador de altura o TUG y un remotely operated vehicle (ROV) comercial, ver figura 3. En dichos vehículos se encontrarán embarcados tanto el punto de acceso que se encargará de dotar de conectividad inalámbrica al vehículo como un PC industrial, al que se encontrarán conectados tanto los instrumentos de los que se captarán los datos como los actuadores a comandar desde la estación en tierra.

### 3.2. Instrumentos

Dentro de los instrumentos que se han tenido en consideración para el desarrollo de este trabajo, contamos con los siguientes:

- Receptor GPS: El receptor GPS seleccionado es modular de trimble GNSS SPS852 [8], compuesto por un receptor GNSS integrado con radio y antenas externas, encargadas de realizar el cálculo de la localización y enviarle al receptor GPS. Este instrumento se comunica empleando el estándar NMEA 0183, habiendo tenido en consideración para el proyecto un total de 8 posibles mensajes, con información acerca de la longitud, latitud... etc. del vehículo en el que se encuentre embarcado, siendo en este caso el Turboferry.
- Unidad de medición inercial: La unidad de medición inercial (UMI) es un instrumento encargado de medir tanto la aceleración como la rotación de un cuerpo en los 3 ejes del sistema de coordenadas (X, Y, Z). Para este proyecto se emplea el modelo VG400CC-200 [1], de la marca crossbow, la cual se conectará al PC industrial a través del puerto serie empleando el estándar RS-232 y cuenta con 3 modos de funcionamiento: El modo ángulo, el modo sensor escalado y el modo voltaje. De los 3 modos solamente se han tenido en consideración los 2 primeros, ya que el modo voltaje transmite la misma información que el modo sensor escalado pero sin emplear el estándar RS-232 para realizar la comunicación. Dicho instrumento estará embarcado en el TUG.
- Acelerómetro: Se hace uso del acelerómetro crossbow CXL04LP3 [2], instrumento de bajo coste y de propósito general empleado para realizar la medición de la aceleración lineal del vehículo, así como las vibraciones del mismo. Dicho instrumento precisará de una TAD (tarjeta de adquisición de datos) para

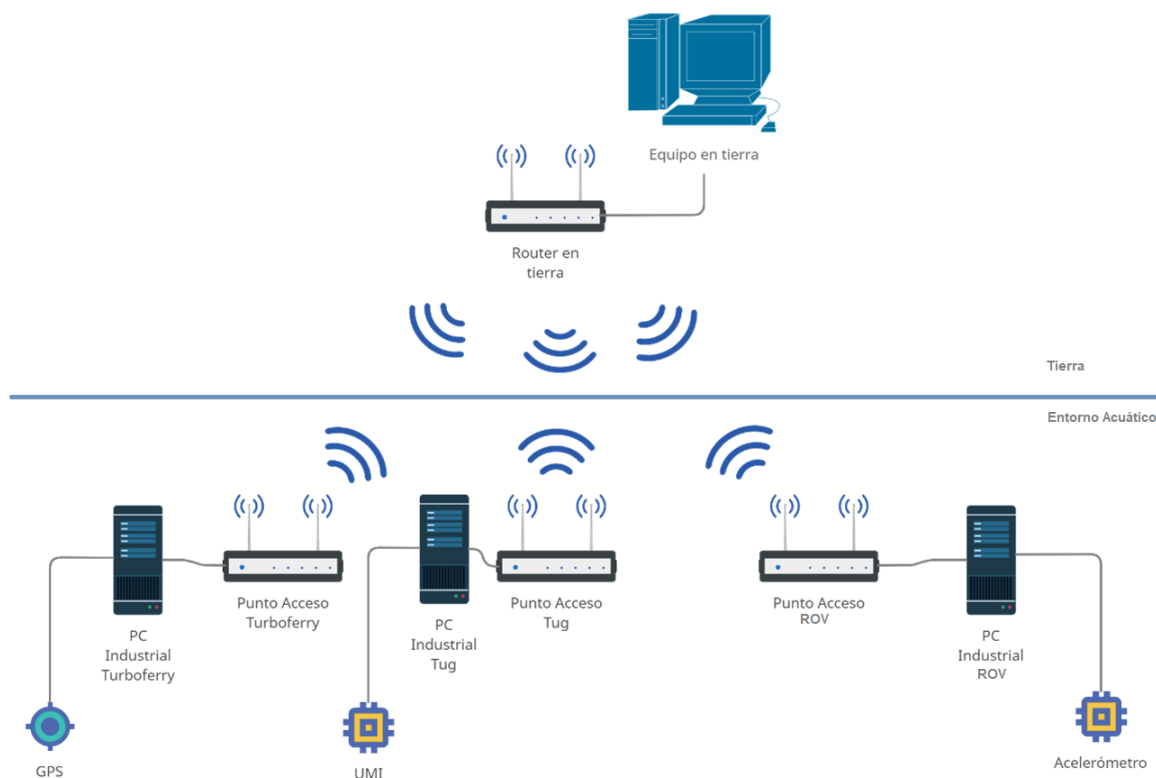


Figura 1: Topología de la red de vehículos marinos

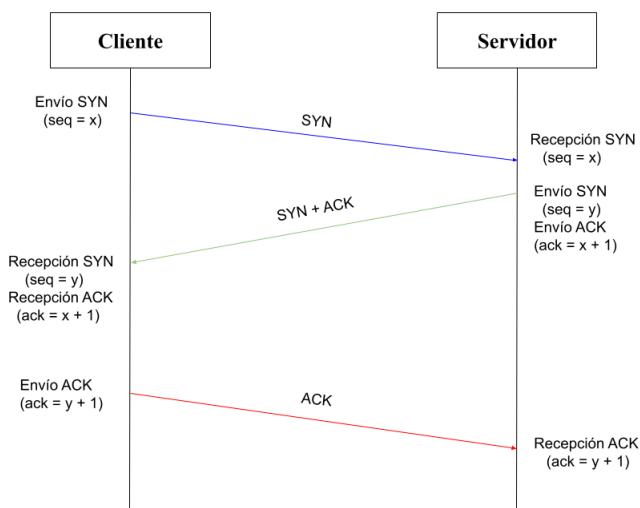


Figura 2: 3 way handshake

realizar el envío de los datos al PC industrial embarcado en el vehículo. Este instrumento se encontrará embarcado en el ROV.

Adicionalmente cada uno de los vehículos previamente mencionados cuenta con una tarjeta de adquisición de datos incorporada[7], para permitir la

comunicación con los actuadores que se encuentran embarcados en cada vehículo.

#### 4. Módulo de adquisición de datos y envío de comandos a través de sockets TCP

El software ha sido desarrollado a través del entorno de desarrollo LabView, haciendo uso del lenguaje de programación G. Esta decisión ha sido motivada porque LabView es un estándar en el desarrollo de aplicaciones de adquisición de datos, además de contar con herramientas que nos permiten desarrollar interfaces en tiempo real y contar con integración con otros lenguajes, como puede ser el caso del lenguaje C o Matlab.

Al ser esta aplicación la base de futuras ampliaciones, se ha construido en base a un diseño modular, basando toda su estructura en módulos de adquisición de datos y envío de comandos a través de sockets TCP, módulos independientes que gestionarán la conexión con un vehículo en concreto.

Los módulos citados en el parrafo anterior se componen de 3 fases principales:

1. Fase de inicialización: En esta fase se abrirán todas las conexiones necesarias para poder

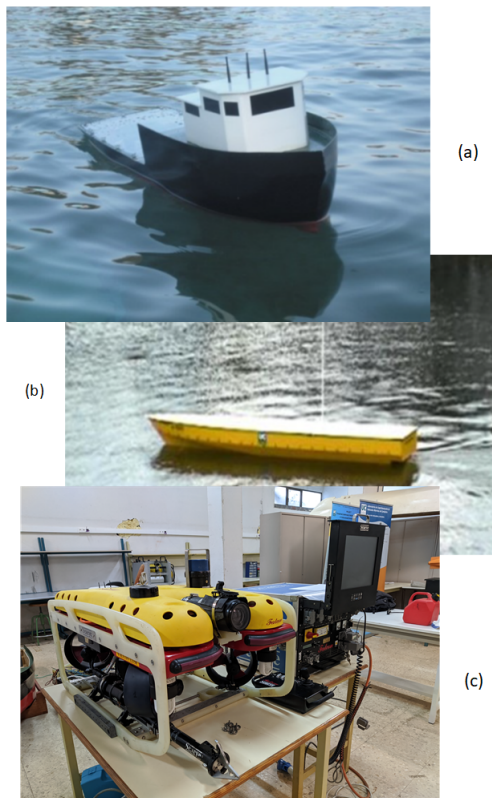


Figura 3: Vehículos marinos: (a) tub, (b) turboferry y (c) ROV.

realizar todas las tareas propuestas para la aplicación: Conexión con el vehículo/equipo en tierra, conexión con los instrumentos, conexión con la base de datos... etc.

2. Fase de recepción, tratamiento, almacenamiento y envío: En esta fase se gestionarán tanto el envío como la recepción de mensajes, captando datos de instrumentos, comandos para los actuadores, almacenando los datos recibidos en una base de datos... etc, siendo modificada esta fase en función de las necesidades de la aplicación a realizar.
3. Fase de cierre: En esta fase se producirá el cierre de las conexiones abiertas en la primera fase, con el fin de lograr una correcta finalización de la aplicación.

A través del uso de este módulo se construirán las aplicaciones que sean necesarias, realizando las modificaciones en el mismo para adaptarse a las necesidades de cada uno de los vehículos a conectarse.

Más específicamente, en el sistema creado para este trabajo se cuenta con 3 aplicaciones para los vehículos marinos, las cuales estarán compuestas de un único módulo de conexión para gestionar la

comunicación con el equipo en tierra, y la aplicación de la propia estación terrestre, la cuál estará compuesta por 3 módulos de conexión, encargados de gestionar las comunicaciones con los 3 vehículos de forma simultánea, haciendo uso de la paralelización de flujos de datos que nos aporta el entorno LabView.

## 5. Uso de la aplicación

Con el fin de facilitar al máximo la experiencia del usuario en las labores de investigación así como docentes, llevadas a cabo con el sistema desarrollado, se ha diseñado una interfaz gráfica por cada aplicación. A continuación se detallará el diseño de la interfaz de la aplicación en tierra, mostrada en la figura 4.

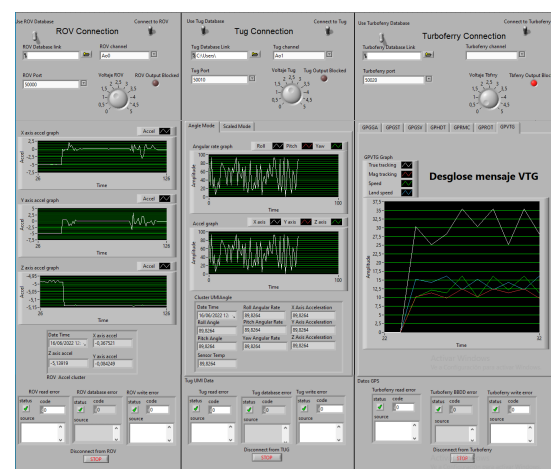


Figura 4: Interfaz gráfica estación terrestre

Como se observa en la figura 4, contamos con una interfaz gráfica dividida en 3 bloques principales, estando cada uno de estos asociado a uno de los vehículos a los que se conectará la estación en tierra. Dentro de cada uno de estos bloques contamos con los siguientes elementos:

- Interruptor de conexión con el vehículo: La aplicación permite seleccionar a qué vehículos decidimos conectarnos para tener una mayor flexibilidad a la hora de realizar la ejecución de la misma.
- Interruptor de almacenamiento: La aplicación permite seleccionar si se desea almacenar la información o si solamente se quiere monitorizar.
- Selector de archivo de enlace con la base de datos: Con la finalidad de indicar el archivo de enlace asociado a la base de datos en la que se almacenará la información recibida.

- Selector de puerto TCP: Con el fin de indicarle al socket el puerto de escucha para la conexión con el vehículo en cuestión.
- Zona de envío de comandos: Esta zona se compone de un selector del canal analógico de salida así como de un indicador del voltaje a enviar a dicho canal analógico en el vehículo en cuestión. También contamos con un led que nos indicará si el vehículo está preparado para recibir comandos o no.
- Zona de monitorización: La zona principal de la interfaz, donde se podrá ver la información recibida para cada vehículo tanto de forma gráfica, para apreciar la evolución temporal de la misma, como de forma numérica para ver los datos con mayor exactitud.
- Zona de gestión de errores, donde tendremos paneles informativos encargados de informar al usuario acerca del estado de ejecución de la aplicación.

En el caso de las aplicaciones de cada uno de los vehículos marinos, todas ellas siguen la misma estructura mostrada en la figura 5.

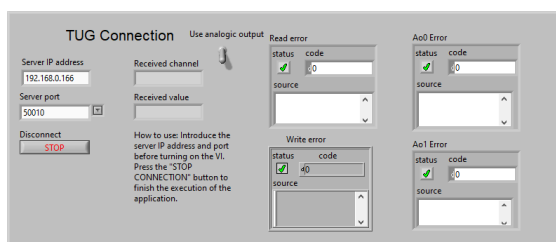


Figura 5: Interfaz gráfica vehículo marino

Pudiendo apreciar en la interfaz los siguientes elementos:

- Selector de dirección IP y puerto: Donde el usuario introducirá tanto la dirección IP de la estación en tierra como el puerto TCP designado para la conexión con la misma.
- Interruptor de salida analógica: Para una mayor flexibilidad a la hora de gestionar el entorno de ejecución de la aplicación, si no se dispone de una TAD en el vehículo en cuestión se permite la ejecución sin utilizar esta funcionalidad, enviando un mensaje de alerta al equipo en tierra para indicar que en ese vehículo la salida analógica no está en uso.
- Zona de recepción de comandos: Donde se mostrará de forma numérica el valor recibido y el canal analógico asignado, para dar al usuario información sobre los comandos recibidos a través del equipo en tierra.

- Zona de gestión de errores: Donde tendremos paneles informativos encargados de informar al usuario acerca del estado de la ejecución de la aplicación en tiempo real.
- Zona informativa: Donde se da una pequeña descripción al usuario del uso de la aplicación.

En el caso de la figura 5 se muestra la interfaz gráfica del TUG, pero todas las interfaces de los vehículos siguen un esquema de diseño similar, con el fin de mantener una coherencia entre las aplicaciones encargadas de formar el sistema distribuido previamente mencionado.

## 6. Conclusiones

Se ha desarrollado un software distribuido capaz de monitorizar de datos de la instrumentación embarcada así como enviar comandos a los distintos actuadores de los vehículos marinos, sentando las bases para sus futuras actualizaciones mediante su diseño estructurado de forma modular.

Además de todo esto, las opciones con las que ha sido integrado le permiten funcionar en una gran variedad de entornos, permitiendo una gran flexibilidad a la hora de su ejecución, ideal para ser utilizado en labores de investigación y docentes de la forma más sencilla posible.

## Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por la Consejería de Universidades, Igualdad, Cultura y Deporte del Gobierno de Cantabria a través del proyecto ControlFond (Control De Vehículos Subacuáticos No Tripulados Para Supervisión De Estructuras Para Obras Marítimas Fondeadas).

## English summary

### Communications software for marine vehicles for research and teaching purposes

## Abstract

*This article specifies the motivations, design and development of a marine vehicles distributed communications software for research and teaching purposes, in charge of the connection of 2 in-scale models of marine vehicles and a ROV with on land equipment. In this work, the bases of the design of the indicated software are esta-*



*blished for future modifications of the same one with the possibility of incorporating more vehicles, giving priority to the scalability of the mentioned system.*

**Keywords:** *marine vehicles, remote experimentation, distributed software, communications.*

© 2022 by the authors.  
Submitted for possible  
open access publication  
under the terms and conditions of the Creative  
Commons Attribution CC-BY-NC 4.0 license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).

## Referencias

- [1] Crossbow Technology. VG400 Series User's Manual. [En línea] [https://seniord.ece.iastate.edu/projects/archive/may0903/datasheets/VG400\\_Series\\_Users\\_Manual.pdf](https://seniord.ece.iastate.edu/projects/archive/may0903/datasheets/VG400_Series_Users_Manual.pdf)
- [2] Crossbow Technology. CXL-LP Series, General Purpose Acelerometer.
- [3] Garcia, A. A., Berenguel, M., Guzman, J. L., Dormido, S. and Dominguez, M. (2006).
- [4] Halsall, F. (2006). Computer Networking and the Internet. Pearson Addison Wesley.
- [5] Institute of Electrical and Electronic Engineers. Estándar IEEE 802.11n. [En línea] <https://standards.ieee.org/ieee/802.11n/3952/>
- [6] Journe, J. M. J. and Massie, W. W. (2001). Offshore Hydromechanics. Delft University of Technology.
- [7] Measurement Computing. USB-1208FS User's Guide. [En línea] <https://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-1208FS-LS-1408FS-Series.aspx>
- [8] Trimble. Getting Started Guide, Trimble SPS852 GNSS Receiver. Junio 2012
- [9] Velasco, F. J.; Revestido, E.; Lopez, E. Moyano, E. Remote Laboratory for Marine Vehicles Experimentation Computer Applications in Engineering Education, 2010
- [10] Velasco, F. J.; Vega, L. M.; Revestido Herro, E. Lastra, F. J. Vessel stability experiences with a remote laboratory for training based on IMO STCW training code Computer Applications in Engineering Education, 2018, 26, 1435-1444

