

Caracterización de las variables necesarias para la Supervisión y Control en el Fondeo de Embarcaciones de Recreo.

Autores: **Gerardo González Filgueira**¹ *Doctor en Informática*, **L. Carral**¹ *Doctor Ingeniero Naval*, **J.A. Fraguela**¹ *Doctor Ingeniero Naval*, **M. J. Rodríguez Guerreiro**¹ *Licenciada en Ciencias Biológicas*, **M. Rivera**² *Ingeniero Técnico Industrial*, **J. C. Carral**² *Ingeniero Industrial*.

e-mail: gerardog@udc.es, lcarral@cdf.udc.es, jafraguela@udc.es, chus@cdf.udc.es,
harlindon2@hotmail.com, jcarral@tallerescarral.com

¹Universidad de A Coruña, España

E-15403. C/Mendizábal. Ferrol (A Coruña). España.

²Carral Marine Technology.

E-15008. C/ Martinete 10-11. A Coruña, España.

Resumen:

En este trabajo se presentan las necesidades de supervisión y control de los parámetros presentes en la maniobra de fondeo, mediante la adquisición, mantenimiento y supervisión de todas las variables que intervienen en ella, así como la permanencia de la embarcación en el fondeadero. El control de los parámetros puede permitir asistir al patrón o capitán en la maniobra de fondeo, la supervisión permitirá detectar situaciones peligrosas durante la permanencia en el lugar de fondeo. La situación a detectar es, el garreo (deslizamiento sobre el fondo) del ancla, debido a que la sollicitación que el buque ejerce sobre el fondeo rebasa la capacidad de agarre de éste. El garreo del ancla se puede deber; al incremento en las sollicitaciones que viento y corriente ejercen sobre el buque (empeoramiento de las condiciones atmosféricas reinantes) o a la modificación en la eficacia del tren de fondeo al haberse modificado la sonda del lugar de fondeo (subida de la marea, bajada de la marea o por el propio movimiento de borneo, giro respecto al punto de fondeo) del barco hacia zonas de menor profundidad. Ante esta situación el sistema de control deberá generar una alarma o aviso a la tripulación, informando del peligro y recomendando algún tipo de acción.

Palabras Clave: Supervisión, Control, fondeo, embarcación, Autómata Programable.

1. Introducción

A mediados del siglo XX, la popularización de la actividad náutica ha propiciado la creación de una numerosa flota de yates que representan un aspecto más del uso lúdico del

mar. La adaptación de este tipo de embarcaciones a la actividad a realizar, con la consiguiente diferenciación respecto a otros tipos de buques, constituye una de las características de evolución de los buques; la especialización en tráficos o actividades. En consonancia con esta actividad los equipos deberán adaptarse a las peculiaridades de su utilización.

La maniobra de fondeo y la posterior permanencia en el fondeadero, en la marina mercante constituye una etapa en la fase de navegación marítima [2][3]. Suele anteceder a la fase de detención en puerto o fase portuaria en los momentos de espera debido a la congestión de la instalación portuaria. Se trata pues, de mantener al buque inmovilizado durante un tiempo de espera que se intenta que sea mínimo. Por todo ello cobra una importancia menor frente al tiempo de navegación. El uso recreativo del mar determina la utilización de la embarcación, tanto en navegación como permaneciendo detenida, para la realización de multitud de actividades. De este modo, la embarcación permanece en esta condición de fondeo un tiempo importante, sobre el total de su tiempo de utilización.

El objetivo de este trabajo es el determinar y caracterizar todas las variables necesarias para permitir la permanencia segura de la embarcación en el fondeadero, mediante la adquisición, mantenimiento y supervisión de todas las variables que intervienen en la maniobra.

2. Parámetros Característicos

A la hora de realizar la maniobra de fondeo, es necesario conocer ciertos parámetros característicos de la embarcación, de forma que los cálculos a realizar sean los más precisos posibles. De estos parámetros correspondientes podemos diferenciar dos grupos, los pertenecientes a las características constructivas de la embarcación y aquellas que definen las características del tren de fondeo que se va a emplear. Se han identificado los siguientes parámetros necesarios para determinar la maniobra:

- Eslora, o longitud entre perpendiculares, a la longitud máxima de la embarcación.
- Manga, o anchura de la embarcación.
- Puntal, o altura de la embarcación.
- Coeficiente de Bloque, este parámetro es determinante, y suele ser suministrado por el astillero donde ha sido construida la embarcación.
- Calado, o mínimo nivel de agua necesario para que la embarcación no corra peligro de embarrancamiento.
- Altura de la proa de la embarcación

- Forma de la superestructura
- Peso aparente de la cadena, es la relación de la masa de cadena en función de su longitud.

Además también es necesario conocer el tipo de ancla con el que se va a realizar el fondeo, al existir gran cantidad de ellas, y las propiedades que varían según las condiciones en las que se necesite emplear.

Estos parámetros son necesarios, para los cálculos que requiere el algoritmo para la preparación y mantenimiento de la condición de fondeo.

3. Comunicación entre dispositivos del buque

La condición de fondeo constituye una fuente de preocupaciones para la tripulación de las embarcaciones de recreo. Esto se debe a varios factores: tripulaciones reducidas, falta de profesionalidad o inexperiencia de los tripulantes, cansancio tras una navegación larga, desconocimiento de la zona, o simplemente falta de atención durante la maniobra o la permanencia ya que el objetivo de la actividad es el recreo de los participantes. Esta preocupación es especialmente acusada cuando se decide fondear en una cala o abrigo para descansar o pasar la noche, lo que lo hace especialmente peligroso si las condiciones meteorológicas cambian durante este período de tiempo [4]

[5]. La comunicación entre dispositivos se hace especialmente necesaria en embarcaciones de recreo, tipo megayates (ver Fig. 1).



Fig. 2. Megayate: Ejemplo de necesidades de Supervisión y Control de la maniobra de fondeo.

Las necesidades de control vendrán dadas por la comunicación de elementos tales como:

- **Instrumentos** convencionales **de navegación** que integre el barco habitualmente. Estos son: sonda, corredera, anemómetro y veleta. La sonda proporciona información sobre la

profundidad existente bajo el casco del barco, parámetro fundamental para determinar la condición de fondeo y evitar la varada del yate. La corredera nos proporciona información de la velocidad del barco, aunque en el caso de este instrumento mide la velocidad de superficie, por lo que nos proporciona información del valor de las corrientes existentes en la zona. Y, por último, el anemómetro y la veleta muestran la velocidad y dirección del viento respectivamente. Estos parámetros serán utilizados para deducir si el barco está aproado al viento y a partir de las lecturas de la velocidad del viento, poder estimar la fuerza aproximada que éste ejerce sobre la obra muerta del buque (parte del buque que sobresale por encima de la línea de flotación).

- **Molinete de ancla** (ver Fig. 3) e **instrumentación adicional y elementos de maniobra remota**. La instrumentación adicional que se debe incorporar para caracterizar los siguientes parámetros: medida de longitud de cadena largada y medida de tensión en la cadena. La medida de longitud de cadena se conseguirá mediante la instalación de un sensor en el barbotén, que genere un número fijo de impulsos por cada vuelta que da la cadena. De esta forma se puede totalizar la longitud de cadena que se ha soltado. En cuanto a la medida de tensión en la cadena, se puede realizar de dos formas diferentes: midiendo el par en el motor (ya sea hidráulico o eléctrico) o instalando una galga extensiométrica en el estopor. Los elementos de maniobra remota están formados por actuadores eléctricos o hidráulicos, que a modo de estopor, permitan enclavar la cadena y evitar que el molinete quede en tensión durante largos períodos de tiempo, y desenclavarla cuando haya que realizar alguna maniobra.



Fig. 3. Pareja de molinetes diseñados y fabricados por Carral Marine Technology, instalados en un megayate.

- **Unidad de captación y procesamiento de señales**. Este elemento constará de un autómata programable, encargado de la adquisición de la señales y de su procesamiento para la toma de

las decisiones oportunas en cada momento. En la Fig. 4 se muestra la implementación de un sistema para el control del equipo de cubierta de un remolcador.



Fig. 4. Maniobra eléctrica del PLC bajo pupitre en el puente en un buque remolcador.

- **Pantalla de interface con el usuario.** Será necesario establecer una pantalla (ver Fig. 5) donde el capitán del barco pueda introducir y ver toda la información que maneja el sistema, desde la introducción de consignas hasta la monitorización de alarmas. Esta pantalla estará conectada con la CPU de procesado.



Fig. 5. Pantalla y Consola de Mando en Puente en un buque remolcador.

4. Unidad de captación y procesado de señales.

La unidad de captación y procesado de señales constituye el corazón de la comunicación entre los dispositivos del buque. El presente estudio se aplicaría a embarcaciones de recreo de media y gran eslora, dotadas de un sistema de fondeo accionado eléctricamente y donde para el mando de la embarcación no es preciso disponer de un personal experimentado. La dificultad del mismo radica, no en el número de sensores y actuadores, sino en la dificultad que entraña un proceso de lectura de una trama de datos para el correcto control de la embarcación.

El sistema estará formado por un dispositivo de control “inteligente” como es un autómata Programable, PLC, que recibe información a través de sensores como son el anemómetro, la sonda de profundidad, el sensor de corredera, todos con salida NMEA

[6], para transmitir información a actuadores como es el accionamiento eléctrico del ancla, Dispositivo de alerta y Dispositivo de atención al funcionamiento. Todos los dispositivos se integran mediante una red de comunicación a través de los distintos protocolos de información (NMEA-RS232-RS485).

La comunicación entre dispositivos se lleva a cabo mediante una pantalla táctil (ver Fig. 5).

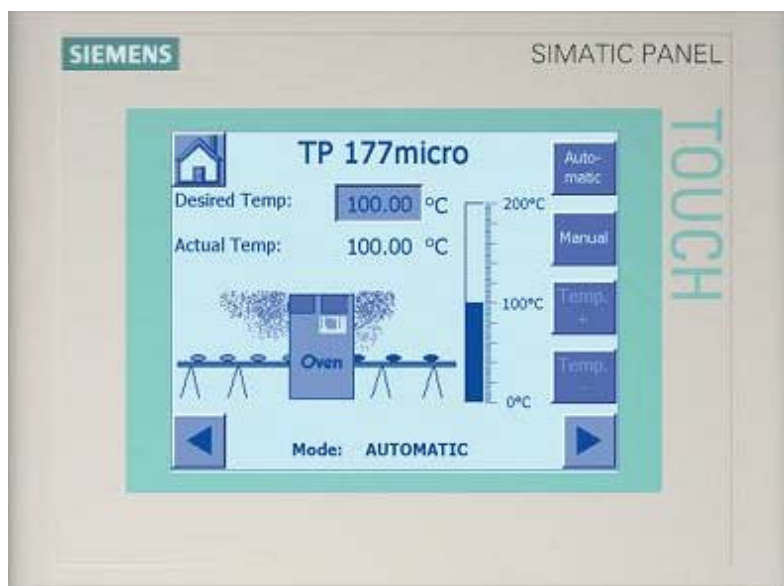


Fig. 5. Pantalla táctil TP177 de Siemens.

Una vez se inicializa la maniobra de fondeo de la embarcación, el Autómata recibe la información de todos los sensores (Anemómetro, Sonda etc). El algoritmo de control interpreta los datos recibidos y actúa en consecuencia actuando sobre el accionamiento eléctrico para mantener estable la embarcación o avisando al personal si la integridad de la misma está en riesgo.

Finalmente se realiza la implementación del conjunto de pantallas mediante sistema SCADA para el control táctil.

4.1. Configuración

La unidad de captación y procesado de señales dispondría de la siguiente configuración:

A) Sensores y Actuadores:

-Sensores para la lectura de parámetros:

- 1) Anemómetro Digital para medida de la Velocidad del viento.
- 2) Veleta con Salida NMEA para medida del Ángulo.
- 3) Sonda de Profundidad con Salida NMEA (Profundidad en m.).
- 4) Sensor Corredora con Salida NMEA (Velocidad de la embarcación, o del flujo de agua bajo ella).
- 5) Tensión de la cadena
- 6) Otros sensores que aseguren la adquisición de variables que garanticen la estabilidad de la embarcación.

-Actuadores:

- 1) Convertidor de Frecuencia conectado a un motor asíncrono trifásico (Accionamiento eléctrico del ancla).
- 2) Dispositivo de alerta.
- 3) Dispositivo de atención al funcionamiento.

B) Dispositivos para la integración de la comunicación:

La red de comunicación se interconecta con los distintos protocolos de información (NMEA - RS232 - RS485) mediante el empleo de:

- 1) Tarjeta Multiplexora NMEA. Esta tarjeta se utiliza para la conversión de datos de NMEA a RD-232
- 2) Cable PPI Multi-Master de Siemens (Protocolo Autómatas Siemens). Se convierten datos de RS232 - RS485.

C) Autómata:

Se podría emplear un autómata de la Gama S7-200 de Siemens, específicamente; el 224XP de dos puertos serie, 14 Entradas Digitales/10 Salidas Digitales.

D) Dispositivos de Control:

- 1) El control del sistema se llevara a cabo mediante una pantalla táctil de Siemens, para mayor comodidad, conectada al autómeta
- 2) Cableado y Aparamenta Básica.

4.2. Configuración de la Comunicación:

La comunicación está configurada como un sistema de red multi-protocolar, es decir desde la adquisición de información hasta el accionamiento del ancla, se emplean 3 protocolos diferentes:

- 1) NMEA (Estándar internacional para la comunicación entre dispositivos electrónicos abordo).
- 2) RS-232 (Protocolo de comunicación Serie).
- 3) RS-485 (Protocolo Estándar de los Autómatas Siemens).

La Comunicación principal entre Autómata-Sistema de Adquisición de Datos se realizara mediante el protocolo Freeport (compatible RS-232 de SIEMENS) empleando las entradas/salidas digitales, para una posible ampliación de la aplicación.

4.3. Descripción

Una vez se inicializa la maniobra de fondeo de la embarcación, el Autómata recibe la información de todos los sensores (Anemómetro, Sonda etc). El algoritmo de control interpreta los datos recibidos y actúa en consecuencia actuando sobre el accionamiento eléctrico para mantener estable la embarcación o avisando al personal si la integridad de la misma está en riesgo. Se trata de un sistema de seguridad auxiliar para el apoyo de personal poco experimentado en el manejo de embarcaciones en el mar.

Los objetivos a perseguir serían:

- a) Implementación del algoritmo de control, para la correcta comunicación entre Sensores-Autómata-Actuadores.
- b) Implementación del conjunto de pantallas mediante sistema SCADA para el control táctil.
- c) Simulación y pruebas del funcionamiento de la comunicación entre dispositivos del buque.

5. Algoritmo para la preparación y mantenimiento de la condición de fondeo

Habitualmente, para cada proceso de planta a controlar, se escoge un modelo de autómatas programable. A nivel de aplicación naval e industrial, de lo que se trata es de programar algoritmos para cualquier equipo de control comercial. Además, debe poder ser fácilmente moldeable para poder ser adaptado a las necesidades particulares de cada cliente y también de fácil adaptación a los lenguajes de programación de cada fabricante de PLCs.

El proceso que se describe en este trabajo es de tipo continuo. La comunicación entre dispositivos pretende controlar y supervisar en todo momento el proceso de la maniobra de fondeo en cualquier circunstancia. Este proceso se puede descomponer en una serie de estados, que han de llevarse a cabo secuencialmente, de modo que para realizar un estado determinado es necesario que se hayan realizado correctamente los anteriores. En este caso, el tren de fondeo de una embarcación estará constituido por una longitud de cadena unida al ancla. En el caso de embarcaciones de pequeña eslora la cadena se podrá sustituir por un cabo aplomado. La reglamentación permite que en embarcaciones de eslora media, existan fondeos del tipo mixto. Para facilitar la maniobra de zarpado del ancla, se mantiene un largo de cadena (de longitud igual a la eslora de la embarcación) en el extremo de unión al ancla, sustituyendo el resto por una estacha de cabo.

La operación de fondeo puede realizarse de diversas maneras pudiendo utilizarse un ancla o dos. Habitualmente, y salvo condiciones ambientales extraordinarias que aconsejen otra solución, se suele fondear con un solo ancla en una condición denominada “a la gira”. Lo que sí puede variar, dependiendo de la zona de operación de la embarcación, será el tipo de ancla empleado. La naturaleza del fondo de los fondeaderos empleados va a permitir escoger entre diversos tipos de anclas, siendo todos ellos de alto poder de agarre. /Bruce, Delta, Fortress, Britany, Hall, Danforth, CQR, etc.

Para garantizar el trabajo óptimo del ancla, y consecuentemente conseguir el máximo poder de agarre, se deberán garantizar dos aspectos esenciales: la primera conseguir que la caña del ancla presente un ángulo cero, o próximo a este valor, respecto a la horizontal, por otro lado evitar las variaciones importantes en la dirección de la proa en condiciones meteorológicas cambiantes (borneo), en especial en fondos arcillosos.

Resulta de especial importancia el primer aspecto; un ancla, en una condición de enterramiento y naturaleza del fondo dada, disminuye de forma dramática su poder de agarre ante valores reducidos del ángulo que forma la caña respecto al fondo. La forma de garantizar

que la acción que la cadena ejerce sobre la caña del ancla se corresponda con una fuerza ejercida horizontalmente, se consigue haciendo que un largo de cadena descansa en el fondo.

Cuando una embarcación ha fondeado a la gira, la cadena adquiere una trayectoria curvilínea característica que recibe el nombre de catenaria

[7]. La catenaria es la curva que forma un hilo ideal, de masa distribuida uniformemente y que cuelga libremente de dos puntos, siendo el más bajo de los dos el vértice de la curva

[8].

El buque fondeado con una sola ancla en su equilibrio estático ha de ser capaz:

a) De soportar las solicitaciones de viento y corriente que se ejerce sobre la embarcación en base al poder de agarre del ancla.

b) El estopor capaz de soportar el peso de la catenaria que forma la cadena.

c) La cadena, bien por su longitud o por su peso, mantener la caña del ancla en posición horizontal (valores inferiores a 5 grados).

El comportamiento del buque fondeado está limitado por las siguientes circunstancias:

a) Movimientos de tipo vertical, debidos a la acción de las olas o la marea, no afectan al poder de agarre del ancla siempre que la caña del ancla descansa sobre el fondo (ángulos menores de 5°, sí afecta a la solicitación en el estopor.

b) Movimientos de tipo longitudinal, modifican la longitud de cadena en contacto con el fondo y por tanto podrían afectar al poder de agarre.

c) Movimientos de giro alrededor del fondeo, o de borneo, en el caso de variaciones importantes en la dirección del viento (contrastes) o de la corriente (ángulo de variación menor de 45°), podrán afectar al poder de agarre en el caso de fondos blandos, ya que es posible que el ancla no se entierre en la nueva posición.

Una vez descritas las especificaciones del funcionamiento del sistema o planta a controlar, se procede a realizar una programación del mismo con diseño descendente “top-down”. La Fig. 6 muestra un diagrama de bloques del sistema. Debido a que resulta necesario disponer de un algoritmo lo más abierto posible, para poder ser implementado en diferentes modelos de PLC's, en función de las necesidades de los clientes, y las capacidades del sistema, el GRAFCET de primer nivel se basa en el diagrama de Flujo de estados de la Fig. 6. El algoritmo se implementa siguiendo la estructura del programa.

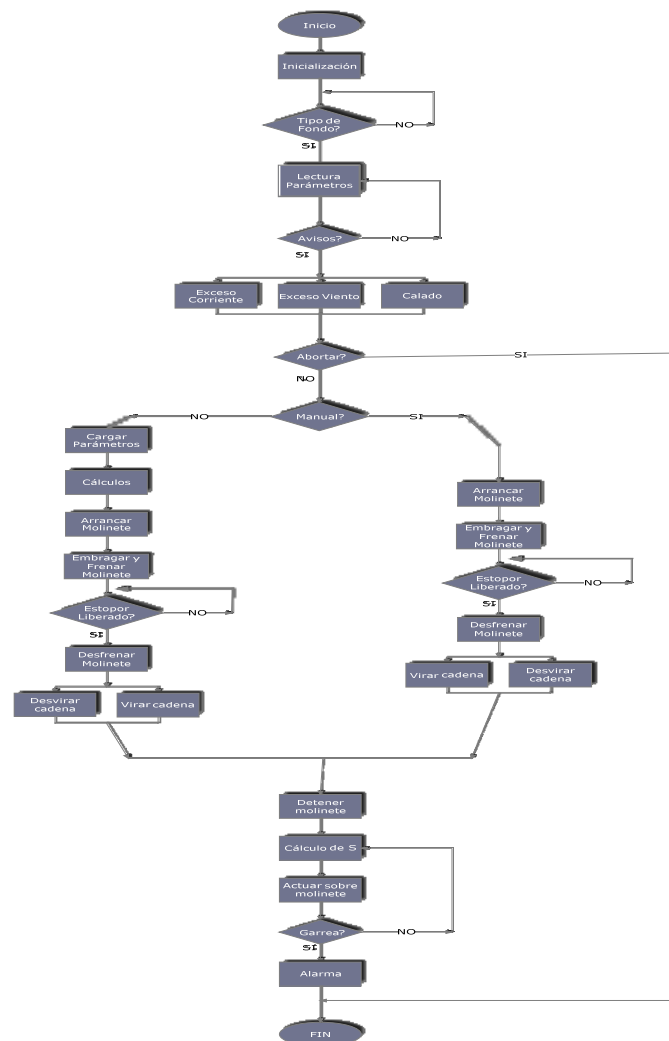


Fig. 6. Diagrama de Flujo del algoritmo

6. Resultados de la Supervisión y Control

Para un proceso de control y supervisión como el analizado en este trabajo se utilizan herramientas diseñadas para abordar el problema de automatización como HMI'S, y sistema SCADA. Existe una relación entre los diferentes elementos del sistema de supervisión SCADA y el trabajo que realizan dentro del sistema. Por lo tanto, se garantiza el objetivo de funcionamiento de la planta.

Para la comprobación del correcto funcionamiento del proceso de Supervisión y Control se ha empleado el software SCADA WINCC flexible de Siemens [9]-[1]. El SCADA supervisa y monitoriza los procesos de control de la maniobra de fondeo.

Se ha determinado que se deben de tener en cuenta, al menos, los siguientes parámetros:

a) Introducir valor estimado del viento en la zona elegida como fondeadero, por el contrario se podrá utilizar la lectura actual del anemómetro V_v .

- b) introducir la sonda estimada en el fondeadero (buscar valor en la carta náutica) *f*.
- c) valorar la bondad del fondeadero en función de la naturaleza del fondo:
- 1- buen tenero (formado por fango duro, conchuela, arena fangosa y arena gruesa).
 - 2- tenero regular (arcilla, cascajo y arena fina).
 - 3- mal tenero (fango blando, piedra y coral).
- e) SALIDAS se podrá calcular la fuerza que el buque ejerce sobre el fondeo T_v , la longitud de cadena a largar S y la relación s/f .

7. Conclusiones

En el presente trabajo se ha procedido a identificar y caracterizar los diferentes parámetros que influyen en la Supervisión y Control en el Fondeo de Embarcaciones de Recreo. El presente estudio es de aplicación a cualquier tipo de embarcación que cuente con la instrumentación necesaria, incluidas aquellas no dedicadas al ámbito recreativo. El hecho de haber realizado una completa caracterización de las variables involucradas hace que el presente trabajo presente múltiples ventajas como aplicaciones futuras que sirvan para la asistencia a tripulación inexperta, proporcionen una mayor seguridad durante horario nocturno, y limiten los posibles errores por intervención humana.

Así mismo se abren grandes posibilidades de ampliación como el hecho de acercar al público general, algo que hasta el momento era accesible a unos pocos dada la preparación requerida y la posibilidad de Detección de averías mediante la Supervisión de los Parámetros.

8. Bibliografía

- [2]. Orden FOM/3200/2007, de 26 de octubre, por la que se regulan las condiciones para el gobierno de embarcaciones de recreo.
- [3] Embarcaciones de recreo. Desarrollo de la orden 17/06/1997 (RCL 1997\1696 que regula las condiciones para su gobierno. Resolución de la Dirección General de la Marina Mercante del 30 de diciembre de 1997. BOE del 9 de enero de 1998, núm. 8 (Pág. 529)
- [4]. Gerardo González Filgueira. L. Carral, J.A. Fraguera, A. G. Ascaso. “Sistema de Adquisición de datos Electrónico para Medida de Estabilización de Embarcaciones de Altura y de Recreo”. XX Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria. Sao Paulo. Brasil 22-26 Octubre de 2007.

- [5]. Luis Carral Couce, Iñigo Echenique Gordillo, Alfonso García Ascaso, Jose Ángel Fraguera Formoso, Gerardo González Filgueira. “Proyecto S.I.S. - Un Sistema de Estabilización para la Flota Pesquera”. XX Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria. Sao Paulo. Brasil 22-26 Octubre de 2007.
- [6] The National Marine Electronics Association (NMEA). <http://www.nmea.org/>.
- [7] Beléndez, A., Beléndez, T. Neipp C. *Estudio estático de un cable homogéneo bajo la acción de su propio peso: Catenaria*. Revista Española de Física 15(4) 2001, págs. 38-42
- [8] Adler, C. *Catenaries on the Computer: A Freshman Physics Assignment*. The Physics Teacher, Vol 37, April 1999, pp. 254-255.
- [9] SIMATIC WinCC flexible. Flexibilidad en todas las aplicaciones HMI –desde el Micro Panel hasta el PC. <http://www.automation.siemens.com>.
- [10] Gerardo González Filgueira, Cesar A. Vidal Feal. *Autómatas Programables. Programación y Entorno*. Reprografía Noroeste, S.L. 2005. ISBN: 84-96474-03-8. Santiago de Compostela (A Coruña). España, pp. 283-306.