



## Desarrollo de un sistema de apoyo a la decisión para optimizar el comportamiento de barcos de vela



J. García-Espinosa<sup>a,\*</sup>, I. Ortigosa<sup>b</sup> y A. Fernández<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), Edifici C1, Gran Capitàn s/n (Campus Norte UPC), 08034, Barcelona, Spain

<sup>b</sup> Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech (UPC), Campus Nàutica, Edif. NT3, Escar 6-8, 08039, Barcelona, Spain

<sup>c</sup> Totalmar Servicios Náuticos S.L., General Álvarez de Castro 3, 3.º-2.º, 08003, Barcelona, Spain

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 18 de febrero de 2014

Aceptado el 22 de abril de 2014

On-line el 26 de noviembre de 2014

#### Palabras clave:

Método de los elementos finitos  
Cálculo acoplado fluido-estructura  
Redes neuronales  
Redes de sensores inalámbricos  
Velas  
Jarcia  
Monitorización estructural

### R E S U M E N

En este artículo se presentan la concepción y el diseño de un nuevo sistema de monitorización para la jarcia de veleros de competición. Los sensores desarrollados incluyen un sistema de procesamiento basado en la aplicación de redes neuronales (ANN, por sus siglas en inglés) que es capaz de evaluar la carga que actúa sobre un elemento e identificar la dirección de acción de esa fuerza. De esta forma es posible identificar las condiciones en las que opera la jarcia del yate en cada momento. Los datos requeridos para el entrenamiento de las ANN se han generado a partir de una campaña de análisis estructurales del dispositivo mediante el método de los elementos finitos (FEM, por sus siglas en inglés). Además, durante la fase de diseño del sistema se llevaron a cabo diferentes campañas experimentales. Estos experimentos fueron diseñados como prueba de concepto, así como para validar los diferentes procedimientos usados en el desarrollo y en la aplicación del sistema.

El sistema de monitorización desarrollado es inalámbrico, poco intrusivo y fácilmente adaptable a cualquier tipo de velero.

Además, en este trabajo se presenta la integración del sistema con un modelo de cálculo acoplado fluido-estructura de las velas, jarcia y arboladura del velero, configurando una eficiente herramienta de soporte a la decisión para evaluar el comportamiento y optimizar el ajuste de la jarcia del yate.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

## Development of a decision support system for optimization of the performance of sailing yachts

### A B S T R A C T

In this paper, the conception and design of a new monitoring system for a racing yachts rig is presented. The sensors developed are able to process the measured strain data, by applying artificial neural networks (ANN) algorithms, and then evaluate the load acting on an element and identify the direction of the action of that force. This way, it is possible to identify the actual operating conditions of the yacht rig. The required data for ANN training is generated from the results obtained from different finite element method (FEM) computational models of the device. Furthermore, during the design phase of the system, different experimental campaigns were carried out. The experimental tests were designed to serve as proof of concept, as well as to validate the different procedures used in the system development and application.

The developed monitoring system is wireless, low-intrusive and easily adaptable to any yacht configuration.

#### Keywords:

Finite element method  
Coupled fluid-structure analysis  
Wireless sensor network  
Artificial neural networks  
Sails  
Rig/Rigging  
Structural monitoring

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [julio@cimne.upc.edu](mailto:julio@cimne.upc.edu) (J. García-Espinosa).

URL: <http://www.cimne.upc.edu> (J. García-Espinosa).

This work also presents the integration of the monitoring system into a coupled fluid-structure computation model for the sails and rig of a boat. The resulting system is an efficient tool for evaluating performance and decision support in the adjustment of a sailboat rig.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

## 1. Introducción

La necesidad de monitorizar estructuras no solo se encuentra en los diversos campos de la ingeniería, sino que también en deportes de competición se presentan exigencias similares. En estos casos el sistema de monitorización permite conocer el estado de la estructura (vehículo, barco, etc.) para salvaguardar la seguridad y para mejorar su rendimiento, mediante el ajuste de diferentes parámetros de la operación.

Si nos referimos al caso de los veleros de competición, en las últimas décadas se han llevado a cabo grandes mejoras en el diseño que han permitido aumentar de manera muy significativa el rendimiento de los barcos. En paralelo al aumento de su competitividad aparece una creciente demanda de investigación tanto experimental como computacional a fin de entender mejor el comportamiento de los veleros de competición y poder optimizar tanto su diseño como su uso.

Como ejemplo, durante la 33.<sup>a</sup> edición de la Copa América, el equipo BMW Oracle Racing [1] registró datos a través de 250 sensores repartidos por todo el casco del trimarán *ORA11*, que resultó ganador de la regata. Con esta información, la tripulación pudo comparar las mejoras en el funcionamiento desde el primer día de navegación hasta el último. La disposición de los sensores en estos barcos se define en la fase de diseño y se deben instalar durante la construcción para integrarse en el casco, la jarcia y las velas. En las referencias [2–4] se encuentran ejemplos de aplicación de sensores de fibra óptica instalados en yates IACC. Además, se pueden encontrar muchas otras referencias en la literatura relacionadas con la aplicación de sistemas de sensores instalados en barcos [5,6], y explícitamente en las velas [7], a fin de monitorizar el funcionamiento del yate.

Si nos centramos en la jarcia de un velero, nos encontramos con una estructura de características muy especiales. La principal especificidad viene del hecho de que es una estructura completamente configurable de manera dinámica. Efectivamente, la tripulación del velero puede *trimar*, esto es, ajustar la jarcia a las diferentes condiciones de operación, de forma que la estructura opera muy cerca del límite en las diversas configuraciones de trabajo. Por esto la monitorización de la jarcia del velero ha de tener en cuenta estas especificidades, y esto justifica que a pesar de los avances en el desarrollo de sistemas de monitorización para veleros de competición, según el conocimiento de los autores, no existe aún ningún sistema flexible capaz de adaptarse a cualquier diseño de jarcia que pueda ser usado para medir la respuesta estructural de los diferentes elementos y que sea capaz de identificar la configuración operativa en tiempo real.

En este artículo se presentan la concepción y el diseño de un nuevo sistema de monitorización para la jarcia de veleros de competición. Los sensores desarrollados incluyen un sistema de procesamiento, basado en la aplicación de redes neuronales (*artificial neural networks* [ANN]), que es capaz de evaluar la carga que actúa sobre un elemento e identificar la dirección de acción de esa fuerza. De esta forma es posible identificar las condiciones en las que opera la jarcia del yate en cada momento. Los datos requeridos para el entrenamiento de las ANN se han generado a partir de una campaña de análisis estructurales del dispositivo mediante el método de los elementos finitos (*finite element method* [FEM]). Además, durante la fase de diseño del sistema se llevaron a cabo diferentes campañas

experimentales como prueba de concepto, así como para validar los diferentes procedimientos usados en el desarrollo y en la aplicación del sistema.

El guión de este artículo es el que sigue. En primer lugar se hace el planteamiento del problema y seguidamente se presenta un primer concepto de sensor de arraigo, incluyendo la aplicación de ANN en el proceso. Luego se muestran las características del diseño final del sistema de monitorización remoto para la jarcia. Finalmente se introduce la herramienta computacional de análisis de interacción fluido-estructura para jarcia y arboladura de veleros, con la que se integra el sistema de sensores.

## 2. Planteamiento del problema

Como se comentó anteriormente, la jarcia de los veleros es una estructura con requerimientos muy especiales. La principal particularidad proviene del hecho de que es una estructura completamente configurable de manera dinámica. De hecho, la tripulación del velero puede actuar en lo que se denominan parámetros de trimado, para adaptar la estructura a las condiciones de operación. Algunos de estos parámetros de trimado se ajustan en puerto (como la tensión en los obenques y en los *stays*), pero el resto de parámetros se modifican dinámicamente durante la regata; se varía la posición del carro (ángulo de ataque) y se ajusta la tensión en las escotas (torsión y curvatura) con el fin de optimizar la operación de las velas (fig. 1).

Uno de los objetivos en este trabajo es el desarrollo de un sistema de monitorización estructural que sea poco intrusivo, flexible, inalámbrico y económico, para monitorizar la jarcia de los veleros. Este sistema consistirá en un mecanismo de sensores que adquirirán los datos de las condiciones estructurales, capaz de ser adaptado a cualquier barco, y un avanzado procesador de señal capaz de identificar los parámetros de trimado.

Muchos de los parámetros de trimado se pueden monitorizar utilizando técnicas estándar. Actualmente están disponibles en el mercado diversas células de carga para medir cargas en cuerdas y cables. No obstante, estas soluciones son intrusivas, ya que los sensores han de ir insertados en el cable, lo que entorpece la maniobrabilidad. Buscando una solución poco intrusiva, se pensó en instalar galgas extensiométricas en los arraigos a los que van amarrados las escotas y procesar los datos para calcular la carga que actúa en el cabo. La extensión directa de esta idea fue intentar obtener no solo la magnitud de las fuerzas sino también su dirección (ángulo) usando una aproximación similar.

Asumiendo que la carga de cualquier elemento está biunívocamente relacionada con el campo de deformaciones y caracterizando el campo de deformaciones por un conjunto de  $n$  medidas  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ , podríamos escribir:

$$\{\bar{F}, \alpha, \beta\} = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n) \quad (1)$$

donde  $\bar{F}, \alpha, \beta$  son las fuerzas y direcciones que actúan sobre la cuerda unida a la polea. Hay muchas opciones para caracterizar experimentalmente la función  $f$ , pero probablemente una de las más extensamente usadas sean las ANN.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702536>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702536>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)