



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Proyecto Fin de Carrera

(2013-2014)

*Diseño de un sistema de estabilización de
vuelo para un catamarán clase C
(Resumen)*

Alumnos: Enrique Delgado Rodríguez y Thibault Martin

Índice

I Datos del Proyecto.....	3
II Introducción.....	4
III Síntesis del Proyecto.....	5
IV Conclusión.....	7

I Datos del Proyecto

- **Autores:** Enrique Delgado Rodríguez y Thibault Martin, Alumno de la universidad Carlos III de Madrid en doble diploma con la escuela Arts et Métiers de Paris el primero, y alumno de esta escuela el segundo.
- **Tutor:** Rémy Gautier, profesor de la escuela Arts et Métiers de Paris.
- **Institución:** Escuela Arts et Métiers Paristech (ENSAM).
- **Coordinador académico:** Denis Bruneau, profesor del ENSAM.
- **Cotutor en la universidad carlos III de Madrid:** Elisa María Ruiz Navas, profesora de esta universidad.
- **Fecha de lectura:** 24 de junio de 2014
- **Tribunal:** Rémy Gautier y Benjamin Muyl, ingeniero naval este último.
- **Calificación:** 16/20

II Introducción

El presente documento es un breve resumen de la memoria del proyecto fin de carrera que trata sobre el desarrollo de un catamarán de tipo clase C para el equipo de competición “Challenge France”. Este proyecto es la continuación de otros proyectos realizados con anterioridad para dicho equipo.

Challenge France es un equipo de vela que participa en competiciones de catamaranes de altas prestaciones. Una de las claves para obtener buenos resultados es el desarrollo de dichas prestaciones, por lo tanto una línea de trabajo busca reducir las pérdidas producidas por la resistencia hidrodinámica. Existe una manera de minimizarla que lleva en uso varios años y es el uso de hidrofoils. El desarrollo del vuelo en los barcos mejora enormemente sus capacidades de navegación, se trata de un juego de equilibrio que es necesario controlar.

En la actualidad se utilizan foils auto-estables para equilibrar los catamaranes clase C. Para mejorar las prestaciones, hemos trabajado en el desarrollo de un sistema que permite la utilización de foils inestables, pero haciendo que el vuelo sea siempre estable.

La primera parte de nuestro trabajo ha sido una etapa de información y recopilación sobre el estado del arte, es decir, datos sobre soluciones que existen en la actualidad tanto en el mundo náutico como en el mundo de la aviación. Finalmente decidimos desarrollar una solución propia, la cual está detallada en la memoria del proyecto: “Rapport de Projet de Fin d’Études”.

Como comienzo de nuestro proyecto, hemos realizado un estudio de la solución actual y posibles puntos de mejora. A continuación, elegimos uno de los conceptos propuestos, el que mejor respondía a las demandas del sistema. Para complementarlo hicimos un estudio técnico para confirmar que nuestra idea era realista y dimensionar y elegir los componentes.

Como punto final del proyecto, ayudándonos de simulaciones pudimos verificar que efectivamente el sistema propuesto cumple las expectativas.

III Síntesis del Proyecto

Los catamaranes clase C están equipados hoy en día con foils que les permiten despegar y volar para un viento de 7 nudos. Todos los barcos que utilizan el viento como medio de propulsión necesitan generar una fuerza anti-deriva para poder avanzar recto, esta fuerza se crea por medio de una pieza llamada orza, que se encuentra inmersa en el agua. Esta fuerza depende de la superficie de orza que se encuentre bajo la superficie, por lo tanto hay que gestionar suficientemente bien la altura de vuelo para que la fuerza anti-deriva creada sea suficiente.

Para ello, hoy en día se utiliza un sistema pasivo que regula la altura de vuelo en función de la fuerza anti-deriva. De hecho la tripulación debe ajustar el ángulo de incidencia del foil principal, y la forma de “J” del foil se ocupa de estabilizar el barco.

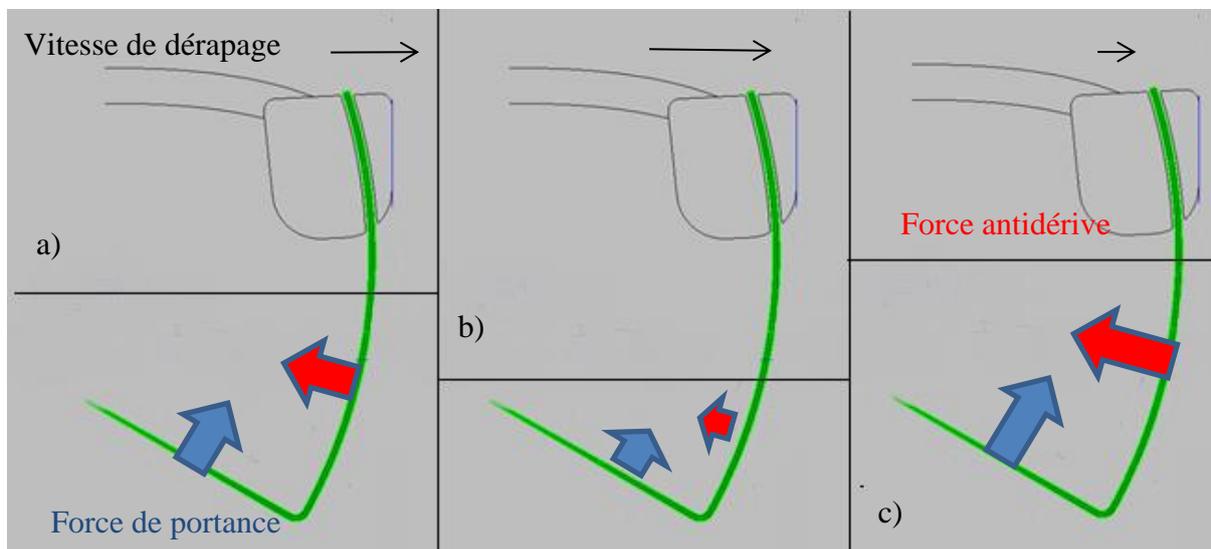


Figura 1 : Foil en J auto-estable

Cuando el barco asciende, la fuerza anti-deriva disminuye, si ésta no es suficiente el barco derrapa y crea una disminución del ángulo de incidencia en el foil que disminuye a su vez la fuerza de sustentación (ver “b” en la figura 1), y por lo tanto hace descender al catamarán. Al revés ocurre lo contrario, cuando la fuerza anti-deriva es suficiente el ángulo de incidencia aumenta y crea más fuerza de sustentación que hace subir al barco (ver “c” en la

figura 1). De esta forma el catamarán encuentra naturalmente su punto de equilibrio (ver “a” en la figura 1).

Este sistema tiene el inconveniente de necesitar una gran superficie de foil para crear las fuerzas de anti-deriva y de sustentación necesarias ya que al ser el foil en “J”, hay una parte de la fuerza de sustentación que se anula con la fuerza anti-deriva.

En este trabajo hemos desarrollado un foil con una forma de “L” que reduce al mínimo la superficie mojada. Además se trata de un sistema activo que estabilizará el vuelo de manera automática ajustando de manera óptima los ángulos de incidencia de los 3 foils que haya dentro del agua (uno en la orza y otro en cada timón).

Una vez decidimos las formas de los apéndices (“L” para los delanteros o principales y “T” para los traseros o estabilizadores) y que el sistema iba a ser electrónico, realizamos varios estudios técnicos: mecánica de fluidos, estructuras, cinemática, estabilidad de vuelo y sistemas de control.

Nuestro resultado final recibe el nombre de sistema de estabilización y regulación de vuelo o “SRD” por sus siglas en francés, el cual será detallado en el apartado siguiente.

IV Conclusión

Tras los estudios técnicos anteriormente mencionados y tras una simulación que corroboró que nuestro sistema funciona, el sistema SRV se compone de lo siguiente.

Los apéndices se agrupan en dos pares, el par delantero o apéndices “A” y el par trasero o apéndices “B”.

Un apéndice A se compone de una parte vertical que funciona de orza y un foil a 90° formando una “L”. La deriva es un perfil EPPLER 393 con una cuerda de 220mm y una longitud de 1’3m a partir de la quilla. La parte foil tiene el mismo perfil y mide 815mm con una cuerda media de 200mm.

Un apéndice B también tiene una parte vertical que en este caso actúa de timón y una parte horizontal a 90° formando una “T”. El timón es 5cm más largo que la orza con una cuerda de 120mm y un perfil NACA 0009. La parte foil tiene el mismo perfil la misma cuerda media pero con una longitud de 445mm.

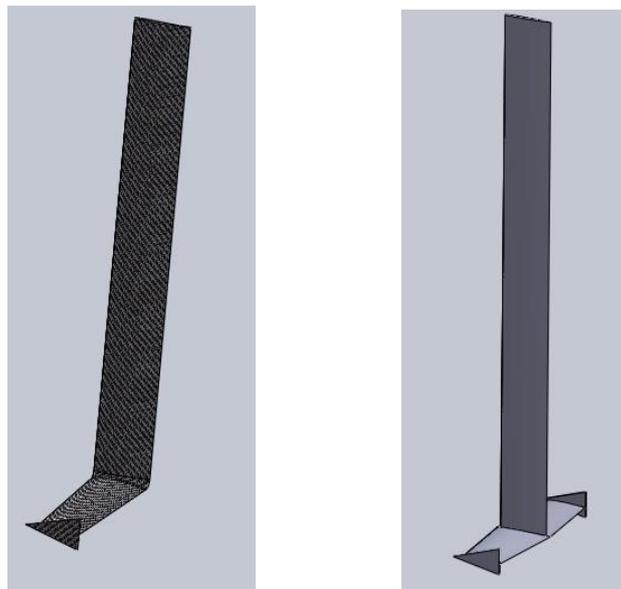


Figura 2: de izquierda a derecha apéndice A y apéndice B

Cada apéndice se mueve gracias a 4 raíles curvos de radio determinado (nosotros hemos elegido 600mm) que miden unos 400mm y que permiten al foil variar su incidencia entre -15° y $+15^\circ$. Además hay un elemento de nexo o caja entre los raíles y el foil que permite guiarlo en translación. Las cajas delanteras sirven además para posibilitar el movimiento vertical del apéndice para poder subirlo y sacarlo del agua.

Además hay un sistema piñón-corona que permite transmitir la potencia del motor al apéndice, hay uno por apéndice. La corona o cremallera curva se encuentra entre los raíles y tiene la misma curvatura.

Los actuadores que hacen girar los piñones son motores de corriente continua de 24V que pueden desarrollar una potencia de hasta 75W delante y 33W atrás. Hay 4 y están pilotados por un microcontrolador programado en C++. El sistema permite de desconectar el motor del apéndice A que está en desuso para ahorrar energía. También habría un botón para cambiar de modo de navegación, contra o a favor del viento según la situación.

Una central inercial es necesaria para medir la altura de vuelo, el ángulo del barco con respecto a la horizontal y la velocidad de avance. También hay un coder absoluto por motor para conocer su posición en todo momento.

Toda la energía necesaria para el pilotaje viene de dos baterías conectadas en paralelo de 7'8Ah de capacidad y que son capaces de almacenar 250Wh de energía.

Para acabar hemos estimado el peso que este sistema añade al barco, y es de unos 24 Kg, aun así el catamarán tendrá unas mejores prestaciones.

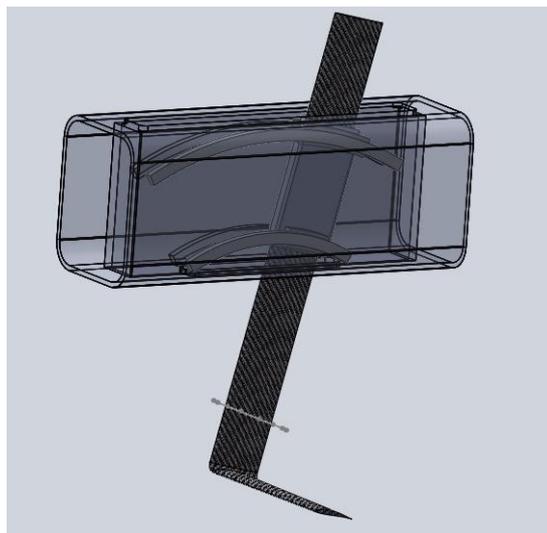


Figura 3: Ejemplo de apéndice del sistema SRV colocado en posición en el casco