

# Les veles: física i operativa

---

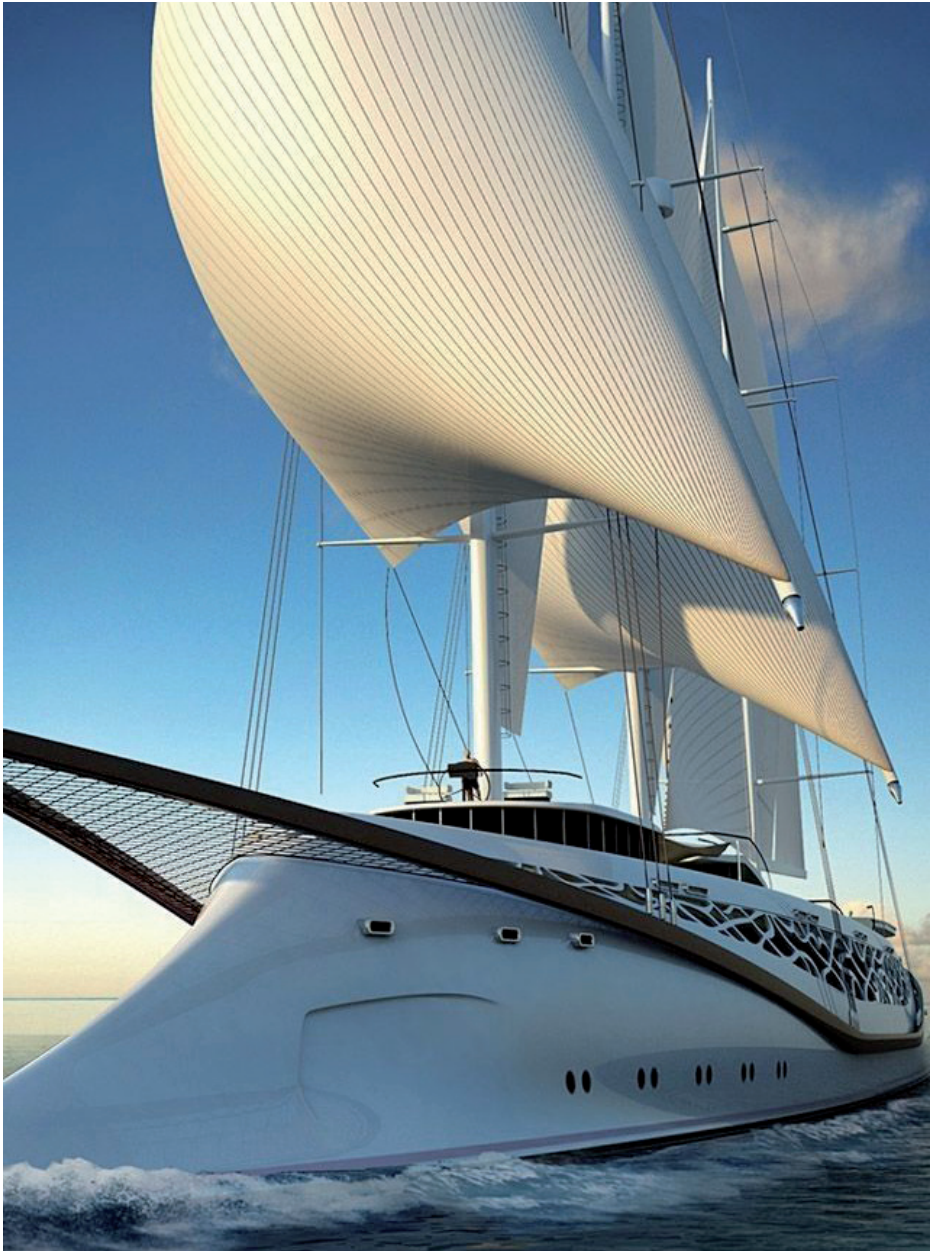
## Presentació

Des de la meua infància he crescut i m'he educat entre eixàrcies, escotes i veles, immers en el món del mar, la navegació i especialment la vela. Apassionat per aquest esport, vaig decidir que el meu treball de recerca havia de tractar sobre aquest tema, però com que era tan extens vaig haver d'aprofundir sobre quelcom més concret. Com que tenia pensat entrar a la carrera d'enginyeria naval l'any següent, vaig buscar un tema que relacionés la meua experiència en la navegació amb els estudis que volia fer, i que alhora fos divertit, entretingut, i m'ho passés bé aprenent coses noves. Així doncs, vaig decidir que dedicaria la meua recerca a investigar el comportament de les veles dels vaixells des d'un punt de vista físic, un tema que aparentment podria semblar breu i senzill, però en finalitzar el treball de recerca m'he adonat que el que havia investigat era només un petit tast de tota la ciència que s'amaga darrere de cada maniobra.

## Metodologia

Per tal de treure el màxim profit d'aquesta oportunitat d'aprendre coses noves que se'm presentava i poder treure unes bones conclusions del treball, vaig dividir la feina en tres parts: recerca, experimentació i demostració.

---



---

En la primera part, la *recerca*, vaig dedicar-me a llegir llibres, articles i pàgines web per tal de recopilar informació i seleccionar la que s'adequava al nivell del meu treball i la que no. Aquesta va ser la fase on vaig redactar la part teòrica del treball. En la segona part, l'*experimentació*, vaig crear un model senzill de vela a escala reduïda per tal de comprovar els fenòmens que havia après a la fase de recerca. Aquesta maqueta constava d'uns indicadors que permetien prendre mesures de les diferents forces que actuaven sobre la vela i comparar els resultats en variar el rumb de navegació o l'angle d'orientació de la vela (de 0° a 90°). En la tercera part, la *demostració*, vaig procedir a navegar a la realitat amb diferents embarcacions de vela lleugera (l'Òptimist, el Làser Pico i el Windsurf) i demostrar a través de vídeos i fotografies que els tres velers, malgrat les seves diferències de mida i forma de navegar, es basaven en els mateixos principis físics per navegar amb la força del vent, els quals havia tractat de manera teòrica a la fase de recerca.

### **Cos del treball**

El vaixell ha sigut molt possiblement el mitjà de transport més antic creat per l'home, i és el que li ha permès habitar tots els continents de la terra. La vela, juntament amb el rem, va ser el primer mitjà de propulsió que es va incorporar a les embarcacions. Durant els milers d'anys d'evolució, la vela ha anat adquirint formes i mides diferents per tal de buscar el millor rendiment i d'aconseguir navegar en tots els rumbos possibles. Actualment, aquest mitjà de propulsió marítim encara s'usa, gràcies a la seva eficiència i baix cost, i la balandra moderna és la combinació de veles més usada, formada per la vela major, a popa, i el floc o *gènova*, a proa, sovint acompanyat per veles addicionals com l'*spinnaker* o el *gennaker*, idonis per a la navegació amb vents portants.

La balandra moderna, a diferència d'altres veles més antigues, presenta una característica que fa que sigui la preferida entre els navegants: pot navegar en qualsevol rumb, fins i tot a contra vent. Això es deu a la forma tallant que tenen les seves veles, que fa que el vent llisqui a banda i banda de la seva superfície, com si fos l'ala d'un avió, i creï una alta pressió al costat de sobrevent i una baixa pressió al costat de sotavent que impliqui una força resultant transversal al pla format per aquesta vela. Però per permetre la navegació correcta és fonamental l'element de l'orsa, situat sota la quilla del veler, que dona estabilitat al vaixell i permet que la força resultant de la vela es descompongui en dues components: la component transversal a la direcció del vaixell, que quedarà anul·lada per l'orsa, i la component longitudinal, que és la que impulsarà l'embarcació endavant. La força resultant es pot calcular de manera aproximada mitjançant la fórmula següent:  $F \sin \alpha$ , on  $F$  és la força,  $\rho$  la densitat de l'aire,  $v$  la seva velocitat,  $S$  la superfície de la vela,  $\alpha$  l'angle del vent respecte el vaixell i  $\theta$  l'angle d'orientació de la vela.

---

La confecció de les veles va ser un altre punt que vaig tractar en el treball, ja que és un factor important que determina el seu rendiment. Actualment les veles poden estar fabricades amb teixit, entrelaçant els fils de la trama i l'ordit (com és el cas del Làser), o amb laminat, combinant diverses capes de materials sintètics premsats en forma de làmines, sovint reforçats amb fils gruixuts i molt resistents (com és el cas del Windsurf). Una de les parts que em va donar més feina va ser la d'experimentació amb la maqueta. Aquesta constava d'un pal vertical que aguantava un contrapès a l'extrem inferior i una vela d'orientació regulable a l'extrem superior. Aquest pal estava sostingut per dos eixos perpendiculars entre ells que permetien que el pal s'inclinés en totes direccions. A l'extrem de cada eix hi vaig col·locar un indicador que em permetia mesurar els graus que s'inclinava la vela en cada component (la longitudinal i la transversal al vaixell). D'aquesta manera, i mitjançant càlculs, vaig anar anotant la força que feia el vent en cada component, segons els diferents rumbos i angles d'orientació de la vela. Vaig repetir l'experiment amb una vela de superfície plana i una amb perfil corbat, i vaig poder comprovar que la segona oferia un major rendiment respecte la primera. Amb els resultats obtinguts vaig fer una sèrie de gràfiques per cada experiment que em van permetre comprovar personalment els fenòmens que havia estat aprenent a la fase de recerca. Per aconseguir uns bons resultats amb la maqueta vaig haver de fabricar un difusor que em repartís el vent proporcionat pel tambor d'un antic aparell d'aire acondicionat, amb un flux uniforme, laminar i amb una superfície suficient per abastar tota la superfície de la vela experimental. Com vaig poder comprovar, en la navegació en real el rendiment de la vela pot millorar si s'ajusta correctament per a cada tipus de navegació i condició meteorològica. Com que la vela està feta d'un material flexible, tensant-la més o menys per diferents punts es pot aconseguir ajustar la seva curvatura, el twist, la tensió de la baluma, del gràtil o pujament (els tres costats de la vela triangular), etc.

## **Conclusions**

Després d'un any treballant en aquest treball de recerca i d'haver estat investigant sobre la navegació a vela, seguint uns objectius concrets, les meves conclusions són les següents:

D'acord amb els objectius establerts, he entès que un veler es desplaça endavant perquè el vent genera sobre la vela una força que, descomposta en dues components, genera una força aprofitable, en sentit longitudinal, que fa avançar l'embarcació, i una força no aprofitable, en sentit transversal, que es veu compensada per l'orsa.

He descobert que aquesta força es pot descriure amb una fórmula matemàtica que expressa la quantitat de moviment transmesa pel vent sobre una vela amb característiques ideals.

---

A continuació, he entès què passa realment en una vela que està immersa dins un gas en moviment. També he entès que, per a una bona navegació, és tan important el disseny de la vela com el del casc del vaixell i que, per la relació que hi ha entre aquests dos elements, un no pot fer la seva funció sense l'altre.

Més endavant he dut a terme un experiment en el qual es comparaven dos models de vela amb el model ideal presentat a l'inici del treball. Havent fet els estudis de força i de comportament de la vela, he comprovat que el model experimental seguia la tendència del model ideal plantejat a la part teòrica del treball. Això ha demostrat la validesa de la fórmula.

He comprovat experimentalment que una vela corbada és més efectiva que una vela plana, ja que manté un flux laminar al llarg de tot el perfil, generant així un efecte de succió.

He comprovat que tots els estudis fets descriuen el comportament d'una vela en la navegació a la realitat.

He millorat els meus coneixements sobre la vela i les meves habilitats per navegar. Gràcies al treball el meu interès pel tema ha millorat i ha canviat la meva manera de veure el món de la navegació a vela. Ara entenc la ciència que s'amaga darrere cada maniobra, cada moviment, etc.

## **Bibliografia**

Llibres i articles: — *Super-e 3e, Ciència*. Enciclopèdia Catalana, vol. 7, 2006. — PRADE, E. *Windsurf para iniciados*. Blume S.A., 1987. — ESCUELA NAUTICA SANTALÓ. *Patrón de embarcaciones de recreo*. [www.escuelanauticasantalo.com](http://www.escuelanauticasantalo.com) — SCHULT J. *Teoría y práctica de las velas*. Tutor S.A., 2008. — *Los grandes veleros*. Llibreria Universitària, 2003. Pere V. *Petit manual del grumet*. V.E., Fornells, 2005. — TIÓ, T.; FERRER, J. M. «El trimado». *Yate - cuadernos del mar*. MC ediciones, núm. 466. Webs: — «El junco chino de alta mar». *Inventos e inventores* <<http://www.iesfranciscoasorey.com/inventos/enlaces/junco%20chino.html>> — «Material, tejidos y veleria», pàgina personal de Carmelo Milla López, [http://www.olajedatos.com/documentos/materiales\\_tejidos\\_veleria.pdf](http://www.olajedatos.com/documentos/materiales_tejidos_veleria.pdf) — *Todo a Babor*, revista divulgativa de historia naval en Internet, <http://www.todoababor.es/articulos/ev-vela.htm>.