

TFC: Enginyeria tècnica naval

# **CÀLCUL DEL PES IDEAL D'UN PATRÓ DE LA CLASSE EUROPA**

**Autor:** Joan Salamé Domínguez

**Escola:** FNB UPC

**Director:** Inma Ortigosa

**Departament:** Ciència i enginyeria nàutica.

**Data:** 02 de Juny de 2011

## **INDEX**

1.- Introducció	Pàg 5
2.- Història	Pàg 6
2.1.- Els inicis	Pàg 6
2.2.- Evolució dels aparells	Pàg 8
3.- Teoria de la vela	Pàg 12
3.1.- Introducció	Pàg 12
3.2.- El teorema de Bernoulli	Pàg 13
3.3.- L'acció del vent sobre les veles	Pàg 14
3.4.- Distribució de les forces en una placa plana inclinada	Pàg 17
3.5.- Tipus de règims	Pàg 20
3.5.1.- La capa límit	Pàg 20
3.5.2.- Règim laminar	Pàg 21
3.5.3.- Règim turbulent	Pàg 21
3.5.4.- Turbulències	Pàg 21
3.5.5.- Separació del flux	Pàg 22
3.6.- El vent aparent	Pàg 23
4.- Les veles	Pàg 24
4.1.- La vela major	Pàg 24
4.2.- Flocs i gènoves	Pàg 26
4.3.- L'spinnaker	Pàg 27
	Pàg 29

4.4.- Noves veles	
4.4.1.- L'spi asimètric	Pàg 29
4.4.2.- Code 0	Pàg 30
4.4.3.- Veles rígides	Pàg 31
5.- El trimat	Pàg 33
5.1.- Elements de trimatge	Pàg 33
5.2.- Factors a tenir en compte	Pàg 36
6.- La tripulació i la seva tasca	Pàg 42
7.- L'europa	Pàg 48
7.1.- Història de l'europa	Pàg 48
7.2.- Dades tècniques de l'embarcació	Pàg 49
7.3.- Característiques dels patrons	Pàg 49
8.- Estudi aerodinàmic	Pàg 50
8.1.- El CFD	Pàg 50
8.2.- El mètode dels panells	Pàg 52
8.3.- Resultats de l'estudi	Pàg 57
8.4.- El centre vàlic	Pàg 58
9.- Estudi Hidrodinàmic	Pàg 59
9.1.- El modelat	Pàg 59
9.2.- La línia de flotació	Pàg 62
9.3.- El centre de carena	Pàg 64
9.4.- El centre de resistència lateral	Pàg 65

10.- Estudi de la influència del pes del patró en el conjunt de forces	Pàg 68
10.1.- El parell adreçant	Pàg 69
10.2.- Els càlculs	Pàg 72
10.2.1.- Vent de 6 kn	Pàg 73
10.2.2.- Vent de 11 kn	Pàg 75
10.2.3.- Vent de 16.67 kn	Pàg 78
11.- Conclusions	Pàg 83
12.- Bibliografia	Pàg 85

## 1. INTRODUCCIÓ

Aquest treball consisteix en calcular el pes adequat d'un patró d'una embarcació de la classe europa, per un perfil d'una vela determinat. La raó de fer aquest treball és que he navegat molts anys amb aquest tipus de vaixell i m'agradaria aprendre'n la vessant més teòrica del món de la vela.

És lògic que quan algú adquireix una vela, n'elegeixi una adequada a les seves característiques, tant físiques com en la manera de navegar es refereix. El meu estudi anirà a la inversa, en comptes de escollir una vela a partir d'un pes determinat, buscaré el pes ideal necessari per a un perfil de vela determinat.

Per a poder realitzar el treball precisaré de diferents programes informàtics com un programa per modelar en 3D, un CFD, un programa d'hidrostàtica i estabilitat, i un programa per a realitzar el càlculs de pesos de la embarcació.

Duré a terme tres estudis, l'aerodinàmic, l'hidrodinàmic, i el de la influència del pes del patró en el conjunt de forces.

- L'estudi aerodinàmic de la vela el realitzaré amb un programa CFD a partir d'un arxiu 3D d'una vela d'europa facilitada per Quantum Sails. Suposaré tres condicions de vents diferents: 6, 11 i 16,67 nusos, per obtenir diferents valors i calcular-ne la mitjana.
- L'estudi hidrodinàmic, consistirà en modelar el casc del vaixell amb un programa de 3D (Catia V5) i determinar la posició dels punts necessaris per a poder realitzar els càlculs (centre vèlic, centre de carena i centre de resistència lateral).
- L'estudi de la influència del pes en el conjunt de forces consistirà en obtenir els resultats per a cada condició de vent donada i així poder treure'n conclusions.

## **2. HISTORIA DE LA VELA**

### **2.1. ELS INICIS**

Cap a l'Edat de Bronze, es van construir vaixells amb taulons clavats entre ells, i es va introduir el concepte de la vela. Es creu que els primers velers eren de l'estil de la maqueta descoberta en una tomba egípcia al 1906. Datava del 2400 aC, i anava aparellada amb una vela quadra hissada damunt un curt màstil central, i es governava amb un gran rem amb forma de canaleta amarrat a la popa. Els egipcis, varen utilitzar aquest tipus de vaixell durant algun temps, mentre que aquest aparell de vela quadra s'anava estenent cap a l'orient.

La vela llatina, probablement també va ser una invenció egípcia. Era una vela trapezoïdal amb un gràtil curt que s'envergava en una antena disposada obliquament respecte el pal. Aquest invent era revolucionari perquè permetia, en certa manera, que el vaixell navegues contra el vent, a part de poder navegar al seu favor. Cal dir que la vela llatina va ser la precursora dels aparells actuals. Els xinesos van desenvolupar una forma lleugerament diferent, anomenada vela al terç. Constava d'una sola vela, amb seccions reforçades amb canyes de bambú.

Per a comprendre el disseny dels vaixells moderns és convenient conèixer l'evolució dels tipus de casc i aparells. Antigament, com ara, una de les principals preocupacions dels constructors dels vaixells era la velocitat. Els primers constructors navals van comprendre que l'eficàcia de les veles era directament proporcional a la seva mida, i com més gran era la vela que un vaixell pogués suportar, més ràpid navegaria. Els constructors navals, especialment els occidentals, varen resoldre el problema dividint tota la superfície vèlica en diferents veles més petites hissades en més d'un pal. Aquest aparell rodó, amb un casc fort, amb molta màniga, i de gran francbord, va ser durant molts segles el disseny preferit a Europa per als vaixells de gran càrrega. A mida que es van anar descobrint i cartografiant nous oceans, es van construir un nombre creixent, per així aprofitar els nous mercats.

Com que aquestes embarcacions només eren apropiades per a navegar amb vents de llarg, només podien aprofitar-se bé per navegar amb els vents alisis que els permetien creuar l'Atlàntic, i les embarcacions que transitaven per les aigües costeres necessitaven un aparell més adaptable. Fruit d'aquesta necessitat es va crear una combinació de l'aparell rodó amb un de ganivet (una modificació de la vela llatina) que permetia als vaixells navegar contra el vent. Llavors Bricbarques, Bergantins Corbeta, Bergantins rodons i Bergantins Goleta, recorrien les costes d'Europa, cadascun dissenyant amb un fi diferent i determinat, en funció del seu tipus de càrrega i de la classe d'aigües per les que navegues.

Cap al segle XIX, els grans vaixells de càrrega s'havien modificat i perfeccionat molt. La competència en les rutes comercials al llunyà Orient i fins i tot Austràlia va inspirar als dissenyadors navals per buscar millors aparells que augmentessin la velocitat i el rendiment. Un d'aquests aparells revolucionaris va ser el disseny del "Clípper", originari dels Estats Units. Aquests Clíppers podien reduir a la meitat els temps de travessa respecte altres naus.

Amb l'arribada de la revolució industrial, van aparèixer les primeres embarcacions propulsades per màquines de vapor. Les primeres unitats van resultar poc fiables però mica en mica es van anar imposant a les embarcacions de vela fins que a finals de segle s'havien imposat a la majoria de bucs de càrrega i passatge.

Tot i això, la evolució de la vela va continuar sobretot gràcies a la regata "Copa Amèrica" que havia tingut inici al 1851 a Anglaterra, on la goleta "America" va apallissar als seus competidors europeus, i actualment és la regata més antiga i prestigiosa del món. Gràcies a l'increment en la popularitat de diverses formes de competició, el disseny naval s'ha modificat i perfeccionat per aconseguir no tan sols vaixells més segurs i ràpids, sinó també més fàcils de governar. A les primeres dècades del segle XX es produeix l'època dorada de la navegació a vela amb l'aparició dels vaixells de la classe J dels nobles britànics, eren vaixells de grans dimensions i amb grans veles. I amb l'aparició de nous materials com la fusta contraxapada van permetre construir embarcacions més sòlides, lleugeres i econòmiques.

Tant l'esperit d'aventura com la sensació de llibertat, sumat a l'augment del seu temps lliure i poder adquisitiu, varen impulsar a moltes persones a aficionar-se a la vela.

A partir de la Segona Guerra Mundial, la navegació d'esbarjo es va anar extenent a quasi bé tots els racons del món.

I va ser a finals dels anys seixanta quan va aparèixer construcció amb fibra de vidre que, va permetre construir embarcacions més lleugeres i barates i amb menys manteniment que abans. Sens dubte això va provocar un punt d'inflexió a l'esport de la vela, un accés a tots els públics.

## **2.2. EVOLUCIÓ DELS APARELLS**

Els vaixells de vela quadra, limitats a la navegació a favor del vent, creuaven els oceans aprofitant els constants vents alisis, a les costes Europees i altres regions, degut a que els vents són més variables, les veles quadres es varen combinar amb aparells de ganivet. Aquests, són aparells en que s'hissen les veles paral·lelament a la cruïxa, i s'adapten millor a la navegació contra el vent. Cada aparell aprofitava els seus avantatges especials de velocitat, facilitat de maniobra, capacitat de càrrega o maniobrabilitat per navegar en canals estrets.

Alhora, en altres parts del món es buscaven solucions diferents. El jonc Xinès, per exemple (que es una forma de vela al terç), és eficaç tant en la cenyida com amb el vent de llarg, i es poden prendre rissos i maniobrar amb facilitat amb una tripulació reduïda. Degut a que la vela constava de vàries seccions i anava reforçada amb canyes de bambú, es poden reparar també amb facilitat, i amb un cost econòmic relativament baix. Tot i ser senzill i eficaç, mai van arribar a adaptar-se de forma majoritària als vaixells de treball d'altres parts del món.

La forma de les veles i la seva evolució al llarg del temps ha condicionat els diferents tipus d'aparells que coneixem a l'actualitat. A continuació presento els diferents tipus de veles que existeixen partint de la vela quadra, reina de la navegació amb rumbos portants, fins la vela marconi que ens permet navegar



contra el vent; és a dir, de cenyida, passant per la vela al terç i la vela llatina, utilitzades en altres vaixells.

#### - LA VELA QUADRA:

És la vela més senzilla i antiga, els grecs, romans i celtas, l'utilitzaven en les seves embarcacions. És l'aplicació perfecta de la navegació amb rumbos portants; és a dir, quan el vent ens arriba per la popa del vaixell i els tripulants només han de fer que s'infla i deixar-se dur. La vela s'hissa al pal amb una drissa. S'utilitza en vaixells de dimensions molt variades, però sobre tot en els grans velers antics en els que les veles quadres estan aparellades en diferents pals i és superposen unes a les altres.



*Il·lustració 1- Vela quadra.*

#### - LA VELA LLATINA:

És d'origen molt antic, és una vela típica del mediterrani. Té forma triangular i està envergada en una antena molt llarga que s'hissa sobre un màstil curt. Pot orientar-se en totes direccions per mitja de l'escota. Tenia un bon rendiment, tant en velocitat com en rumb, i el seu govern és relativament fàcil. Aquest tipus d'aparell, deixa la coberta totalment lliure i es pot desmuntar-se amb rapidesa



*Il·lustració 2- Vela llatina*

### - LA VELA AL TERÇ

S'anomena així degut a que la verga no s'hissa per el centre com a la vela quadra, sinó que en un terç de la seva longitud. Aquesta simple variació, porta amb ell una dissimetria de la vela i millora considerablement el seu rendiment navegant contra el vent. Aquesta vela va unida per la part del pujament, a la botavara, que és com una perxa però en posició horitzontal i articulada al pal. A l'actualitat la vela al terç s'utilitza amb algunes variants, especialment amb la manera d'utilitzar la verga. De la mateixa manera que la vela quadra podia formar diferents aparells amb diferents conjunts de veles, la seva gran simplicitat de maniobra va fer que s'utilitzés en els vaixells de feinejar de les costes europees.



*Il·lustració 3- Vela al terç*

### - LA VELA CANGREA

La seva forma és molt similar a la vela al terç, però al contrari d'aquesta, s'hissa completament a popa del pal. El gràtil acostuma anar lligat al pal, i la vela gira sobre aquest eix vertical.

La verga, o perxa, porta una articulació a la base del pal i subjecta la vela en sentit diagonal. D'una bordada a l'altre, la vela cangrea és quasi bé simètrica i permet remuntar fàcilment el vent.



*Il·lustració 4- Vela cangrea*

### - LA VELA GUARIA

Aquesta vela és una evolució combinada de les veles anteriors. L'antena o perxa sobre la que va unida la part superior de la vela, està articulada al pal. El gràtil és subjecta al llarg del pal per cercles de fusta (garrutxos) que llisquen durant les maniobres d'hissat i arriat de la vela, i el pujament va



unit a la botavara. Aquest cop la vela actua de manera simètrica d'una bordada a una altra. *Il·lustració 5- Vela guairola*

La característica de la vela guairola es que es combina sempre amb altres veles: trinqueta i/o floc a la proa, i escandalosa a la part alta, per omplir l'espai existent entre la perxa i el topall del pal.

### - LA VELA MARCONI

Aquesta és la vela dels vaixells moderns. La seva forma triangular permet que només es necessiti el màstil i la botavara per ser subjectada. Va aparèixer a l'arxipèlag de les Bermudes (per això també se li anomena vela Bermudiana), al segle XIX.

Al no dur cap perxa a la part alta, el topall del pal, és subjecta a popa per un o dos backstays. Per aquesta raó, el pal és més llarg per anar a buscar el vent cada cop més amunt. L'excel·lent rendiment de la vela marconi en cenyida ha pogut imposar-se en els vaixells de vela moderns.



*Il·lustració 6- Vela marconi*

### **3. TEORIA DE LA VELA**

#### **3.1. INTRODUCCIÓ**

Es pot considerar el vaixell com una màquina molt complexa que es comporta com un sistema físic que interactua entre dos fluids (aire i aigua), les forces del vent i del mar.

En aquest apartat, interpretarem el moviment del vaixell a través de l'anàlisi dels seus mecanismes fonamentals i els principis en què es basen.

Podem dir que el sistema vaixell, com qualsevol altre sistema físic, consisteix en una sèrie d'elements que estan estretament vinculats entre sí, el casc, el màstil, la eixàrcia, les veles, i els apèndix. No podem determinar el rendiment general del sistema a través dels rendiments d'aquestes parts de manera independent.

Un vaixell navegant en un mar i unes condicions de onada més o menys altes, està sotmès a una gran sèrie de moviments violents deguts a la combinació de forces de diferents orígens. Per poder estudiar bé el funcionament del vaixell i simplificar al màxim fenòmens que poden fer més difícil entendre la teoria de la vela, considerarem unes condicions de navegació estables, és a dir, un vent constant i un mar pla.

En aquestes condicions, les parts del vaixell que queden per sobre de la línia de flotació interactuen amb l'aire per crear les forces aerodinàmiques, mentre que les parts que queden per sota la línia de flotació ho fan amb l'aigua per crear les forces hidrodinàmiques, que compensaran les aerodinàmiques.

També actuen sobre el vaixell les forces gravitacionals que es compensen amb les de flotació.

De les diferents forces que actuen sobre el vaixell, hem de distingir entre:

- Forces estàtiques, com el pes i la flotació que no estan influenciades per el moviment sinó per els paràmetres geomètrics del casc i components.
- Forces dinàmiques, que apareixen per el moviment relatiu entre el vaixell i les veles amb l'aigua i l'aire respectivament.

Quan el vent interacciona amb la vela parlem de pressió estàtica que és produïda per el contacte directe entre vent i vela, i parlem de pressió dinàmica quan la força produïda és deguda al moviment al voltant del perfil.

Les baixes velocitats a les que circula el vent al nivell del mar, juntament amb el fet de que no es produeixen variacions importants de la seva densitat, ens porta a considerar en el nostre estudi a aquest aire com un fluid incompressible.

### 3.2. L'EQUACIÓ DE BERNOUILLI

El principi més important dins de tot aquest estudi, és el principi de Bernouilli, que en el cas de les veles i de manera molt simplificada (considerant negligibles les pèrdues per fricció) es pot resumir dient que “un augment de la velocitat va acompanyat d'una disminució de la pressió, i viceversa”, degut a que l'energia total d'una massa de fluid en moviment ha de romandre constant. Aquesta energia del fluid es pot presentar en tres formes: velocitat, pressió i calor. Aquesta última forma és només present quan el gradient de pressions és elevat, i per tant, en el flux al voltant d'una vela on la magnitud dels gradients de pressió és petita, la temperatura del flux pràcticament no variarà i consegüentment l'intercanvi d'energia es realitzarà entre velocitat i pressió. Una forma simplificada de l'expressió del teorema de Bernouilli tenint en compte les consideracions anteriors és:

On:

$$p_{st1} + \frac{1}{2} \rho \cdot c_1^2 + H_m = p_{st2} + \frac{1}{2} \rho \cdot c_2^2 + \Delta h_{1-2}$$

**p<sub>st</sub>** és la pressió

**ρ** la densitat del fluid

**c** la velocitat

**H<sub>m</sub>** el treball mecànic cedit o absorbit (en les veles és nul)

**Δh<sub>1-2</sub>** les pèrdues del tram entre els punts 1 i 2.

És important remarcar que aquesta equació de Bernouilli és vàlida per a una línia de corrent que no varia en la seva alçada.

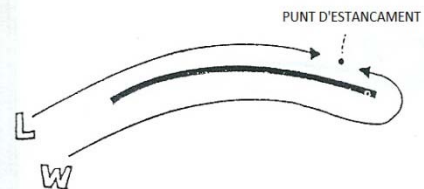
### 3.3. L'ACCIÓ DEL VENT SOBRE LES VELES

Durant el primer instant, el vent flueix a través dels 2 costats de la vela des de el gràtil fins la baluma. La corba de la vela fa que la corrent d'aire es corbi en conseqüència. Naturalment, l'aire en el costat de barlovent arriba abans a la baluma que l'aire de sotavent, ja que el seu recorregut és més curt.



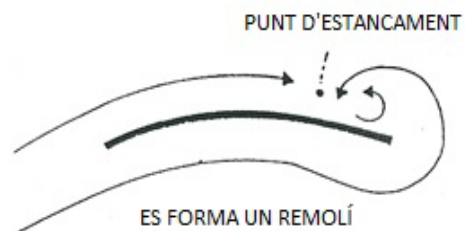
Il·lustració 7- primer pas

La primera partícula d'aire que arriba a la baluma llisca al seu voltant per trobar la seva partícula germana, que venia des de el gràtil per la part de sotavent de la vela, degut a que a la part de sotavent hi tenim una depressió i la partícula se'n va cap a pressions menors. Aquestes xoquen en la part del darrere, en el punt d'estancament on no hi ha corrents d'aire en cap direcció.



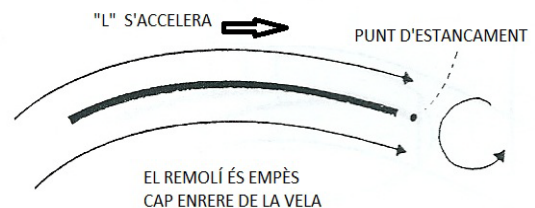
Il·lustració 8- punt d'estancament

En el següent instant es forma un remolí (vòrtex) a sotavent de la baluma.



Il·lustració 9- Remolí

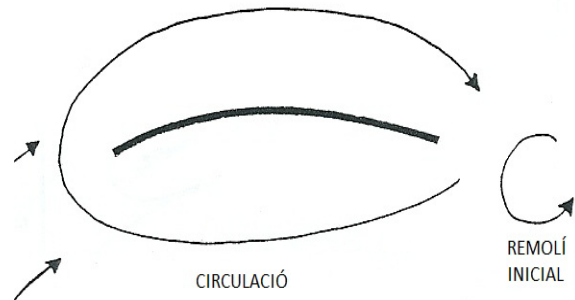
Amb la mateixa naturalitat aquest vòrtex es va arrossegant endarrere de la vela per la corrent de l'aire lliure, i a mesura que es desplaça arrossega el punt d'estancament, deixant-lo directament



Il·lustració 10- Vòrtex

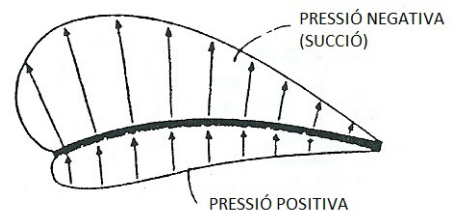
darrere la baluma. Des d'ara les partícules d'aire que circulïn per la cara de sotavent hauran d'accelerar-se a través de la part externa de la corba per trobar les seves partícules germanes de barlovent en aquest punt. Aquest "remolí inicial" es mou darrere la corrent de la vela perdent-se.

Ara el remolí inicial ha iniciat una circulació general al voltant de la vela. Aquesta corrent circulatòria es combina amb la corrent d'aire lliure per produir la corrent resultant o total. La circulació desaccelera la corrent de circulació lliure de la cara de barlovent de la vela causant una zona d'alta pressió i accelera la corrent de l'aire de la cara de sotavent de la vela provocant una zona de baixa pressió.



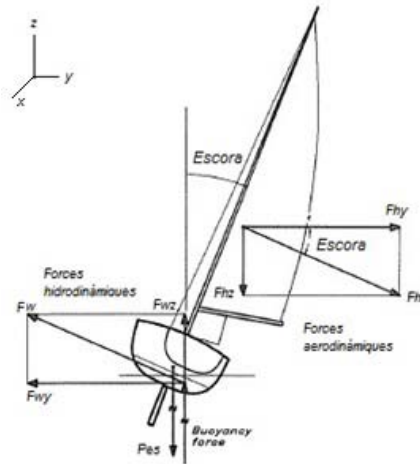
Il·lustració 11- Remolí inicial

El diagrama de distribució de pressions mostra que el costat de sotavent de la vela fa la major part del treball. La sustentació és la força total exercida pels perfils perpendiculars al flux d'un fluid.

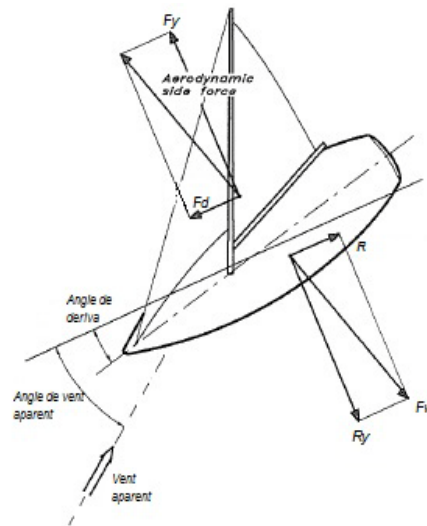


Il·lustració 12- Representació del camp de pressions

Els esforços suportats per una vela són principalment aerodinàmics, els quals depenen de la velocitat de l'embarcació. No obstant això, aquests esforços interactuen amb les forces hidrodinàmiques generant angles i escores que afecten a la navegació. Les veles fan modificar el flux d'aire incident, i el flux al seu torn, exerceix unes forces sobre la vela (forces aerodinàmiques), de manera que modifiquen la forma d'aquesta.



Il·lustració 13- Descomposició de forces en Y Z

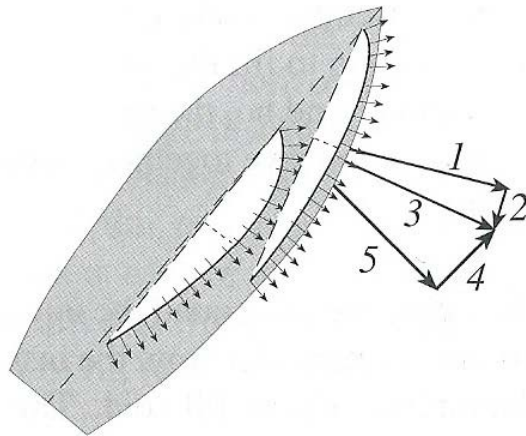


Il·lustració 14- Descomposició de forces en X Z

La resultant d'aquestes forces aerodinàmiques formen la força vèlica. Aquesta força es descompon en dues components en el pla YZ, una que l'anomenem força escorant  $F_h$  en el cas aerodinàmic, que empeny el veler lateralment, i l'altra força lateral  $F_w$  en el cas hidrodinàmic. Aquestes forces, definides en relació als seus components en els eixos Y i Z es denominen força horitzontal escorant  $F_{hy}$  i força horitzontal lateral  $F_{wy}$ . De la mateixa manera els seus components verticals són la força vertical aerodinàmica  $F_{hz}$  i la força vertical hidrodinàmica  $F_{wz}$ .

Si descomponem les forces en el pla XZ, trobem els components en el sentit de la marxa, que es defineixen com a força d'avanç  $F_D$ , que fa avançar el veler, i la força Resistència a l'avanç  $R$ . En l'eix Y les forces s'han de contrarestar entre elles, ja que si la força  $F_y$  és més gran que la  $R_y$ , el vaixell derivaria massa.





### Forces de la vela

- 1.- Força de sustentació
- 2.- Resistència
- 3.- Força total
- 4.- Força d'avanç
- 5.- Força de deriva

Il·lustració 15- Total de forces en la vela

Aquestes forces són causa de la circulació del fluid (en el nostre cas aigua) a través d'un perfil, com la vela i la orsa. En el cas de la vela ja hem vist que la força aerodinàmica es produeix per la diferència de pressions entre el costat de barlovent i el de sotavent de la vela. Com més diferència de pressions hi hagi, més gran serà la força aerodinàmica generada per el perfil.

Quan el vaixell navega escorat, les forces que es generen a la orsa, són causa de la pressió per ser una placa plana inclinada en un fluid:

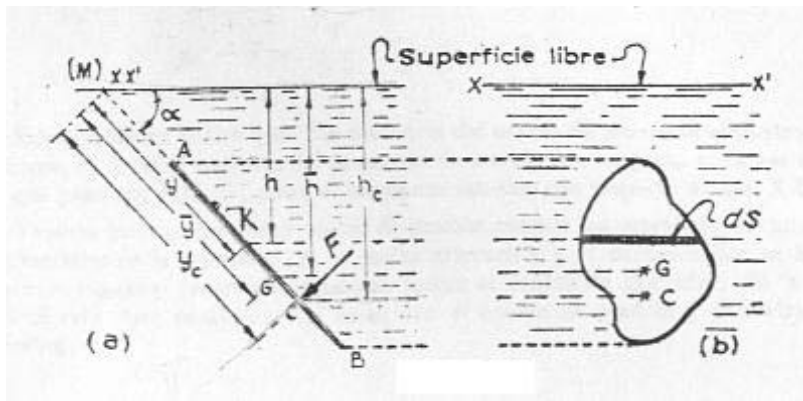
### **3.4. Distribució de les forces en una placa plana inclinada submergida**

Considerem la orsa com una superfície plana inclinada respecte a la superfície lliure del líquid. Aquí la pressió no és uniforme en tots els punts de la superfície, sinó que va variant sent menor en A i augmentant fins B.

L'empenta ha de ser normal a la superfície i ja no passa pel centre de gravetat d'aquesta com quan la placa es troba paral·lela a la superfície lliure del líquid, sinó més avall, perquè la resultant del sistema de forces paral·leles format per les diferents pressions, estarà més proper a les forces de major intensitat. El punt per on passa l'empenta que el líquid exerceix sobre la superfície es diu "centre de pressió".

Perquè quedi determinada l'empenta, és necessari determinar primer la seva intensitat i de seguida la localització del centre de pressió.

A la Il·lustració següent es mostren les projeccions de qualsevol superfície plana AB subjecta a la pressió estàtica d'un líquid amb superfície lliure. La superfície AB fa un angle qualsevol amb l'horitzontal (angle d'escora del vaixell), prolongat el pla d'aquesta superfície, intercepta la superfície lliure del líquid segons una recta XX' mostrada com un punt M en (a).



Il·lustració 16- Pressió sobre una placa plana

Suposem que una franja elemental de la superfície agafada paral·lelament al eix XX'. La pressió sobre aquesta franja és uniforme i a la seva empenta la podem anomenar dF. La resultant de les dF és una força que hem dit s'aplicarà al centre de pressions. Així es té:

$$dF = w \cdot h \cdot dS$$

$$F = \int w \cdot h \cdot dS = w \cdot \int h \cdot dS$$

La superfície plana, en la seva intersecció amb la superfície lliure dóna una línia que és interessant considerar:

$h = KM \cdot \sin \alpha$  per substitució ens queda:

$$F = w \cdot \int KM \cdot \sin \alpha \cdot dS = w \cdot \sin \alpha \cdot \int KM \cdot dS$$

$$\int KM \cdot dS$$

El  $\int KM \cdot dS = S \cdot \bar{y}$  és el moment estàtic de la superfície S amb respecte al eix XX', per tant:

substituint ens queda:

$$F = w \cdot \sin \alpha \cdot S \cdot \bar{y}$$

però com que  $\bar{h} = \bar{y} \cdot \sin \alpha$  quan substituïm ens queda:

$$F_p = \gamma \cdot \bar{h} \cdot A$$

L'empenta o força de pressió sobre una superfície plana, té per valor el producte de la pressió en el centre de gravetat per la superfície considerada, és a dir:

$\gamma$  : pes específic del fluid en el que es troba submergit

$\bar{h}$  : profunditat a la que es troba el centre de gravetat de la superfície

A : àrea de la placa (orsa)

La distància del centre de gravetat de la superfície al centre de pressió es calcula:

$$CG - CP = \frac{I_c}{y_c \cdot A}$$

On:

$I_c$  : moment de inèrcia de la superfície respecte al centroide

$y_c$ : distància des de el centre de gravetat a la superfície lliure en la direcció d'inclinació de la placa (orsa).

A: àrea total de la superfície submergida.

### 3.5. Tipus de règims

#### 3.5.1. La capa límit:

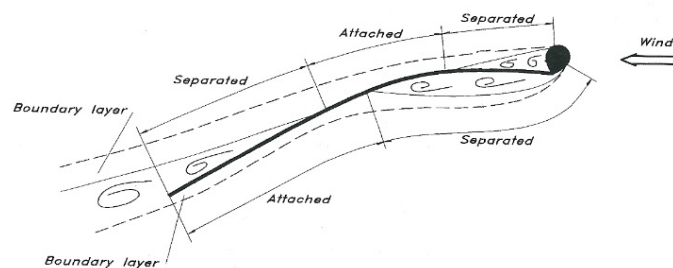
Imaginem el flux d'un fluid (aire o aigua) que viatja a través d'un cos a una velocitat  $V$ . Des del punt de vista del cos, aquest està quiet i és el fluid el que es mou al seu voltant. Lluny del cos, el fluid no se'n adona de la presència d'aquest, per tant es mourà a la velocitat  $V$  com si res. En canvi, el fluid que es troba en contacte immediat amb el cos, es quedarà adherit a ell per efecte de la viscositat, per tant la seva velocitat relativa respecte el cos serà nul·la.

Per tant hi ha una transició gradual entre aquests dos comportaments, i el flux passa de tenir velocitat nul·la a velocitat  $V$ .

La capa límit es sol definir com la zona en la que el flux d'aire té una velocitat d'entre el 0 i el 99% de  $V$ . El seu gruix depèn doncs del perfil de velocitats de la zona de transició.

Existeixen dos tipus de capa límit: la capa límit laminar i la capa límit turbulenta.

La segona és lleugerament més gruixuda que la primera, i com el fluid es mou en totes direccions, dissipa més energia i per tant la força de fricció derivada d'ella és major.



Il·lustració 17- Capa límit en una vela

### **3.5.2. Règim laminar:**

El règim laminar involucra capes de fluid sense turbulència. Una bola de ferro enfonsant-se en un cubell de mel experimenta un flux laminar. El flux laminar és excepcionalment net sota certes condicions i pot generar relacions molt importants de màxima sustentació i mínima resistència. Per contra aquest flux és molt fàcil de pertorbar, molt difícil de restablir i únicament es produeix en superfícies llises i sense protuberàncies ni cavitats.

Per això els regatistes són sempre tant meticulosos amb el seu casc i apèndix tenint-los sempre ben polits i llisos per no tenir res que pertorbi la circulació de l'aigua a través seu. El flux laminar es presenta més fàcilment a velocitats baixes, en la zona d'atac de perfils o en fluids viscosos. Només una petita part del flux sobre el pla vàlic serà laminar.

### **3.5.3. Règim turbulent:**

El règim turbulent és menys crític que el laminar. El moviment del fluid en aquest règim és caòtic i les trajectòries de les partícules son desordenades, generalment formant remolins.

El canvi de laminar a turbulent és fàcil de simular; per exemple, si obrim una aixeta suaument, podrem observar un flux laminar. A partir d'ara, si seguim obrint l'aixeta, augmentarem la velocitat i el corrent, i el flux passarà a ser turbulent, convertint-se en un corrent fort i balbotejant. Per tant, el propòsit de l'ajustament de les veles serà establir la capa límit.

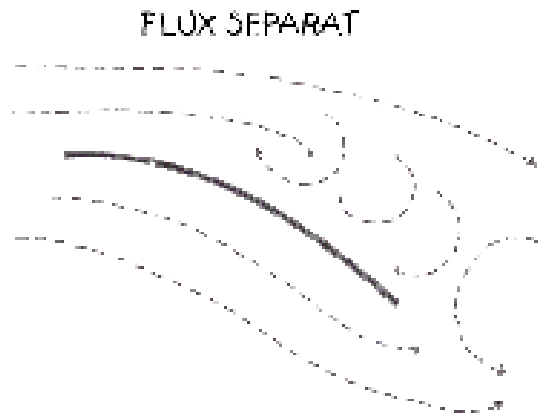
### **3.5.4. Turbulències:**

En termes de dinàmica de fluids, turbulència o flux turbulent, és un règim de flux caracteritzat per trajectòries circulars erràtiques, semblants a remolins, alta convecció i canvis espai-temporals ràpids de pressió i velocitat. Es denomina turbulència a algun fenomen que es produeix dins d'una situació fluida i estable. Les turbulències envolten tant el vaixell com la vela, i ja que eliminar-

les en la seva totalitat no es pot, si que hem d'intentar reduir-les al màxim, i per a això començarem a fer-ho a partir del disseny del casc, les veles, els apèndix i el màstil, i alhora de navegar la tasca de la tripulació també és vital alhora d'aconseguir aquest fi.

### 3.5.5. Separació del flux:

Aquí, és on veritablement trobem més fregament i més pèrdua de potència de l'embarcació. El que es busca és que el flux es desprengui del perfil el més tard possible, per obtenir la màxima sustentació.



El desprendiment es produeix quan els gradients de pressió són adversos. Si el fluid no té prou energia per vèncer aquest gradient advers es desprèn. I de fet és més fàcil el desprendiment quan el flux és laminar, ja que té menys energia per vèncer els gradients adversos de pressió. En canvi el flux turbulent té més energia cinètica i més capacitat per vèncer aquests gradients i no desprendre's.

En un perfil, que estigui en condicions de pèrdua de sustentació, trobem que el flux és separa de la superfície i es nega a seguir la seva corba. La separació comença al vèrtex de fuga i progressa cap endavant. La separació parcial del flux, no és anormal; en general un 10 – 20% de la vela té un flux separat quan naveguem de cenyida amb vents de mitjana intensitat. Però quan el punt de separació creix fins al vèrtex d'atac del gènova, la força de sustentació decreix considerablement.

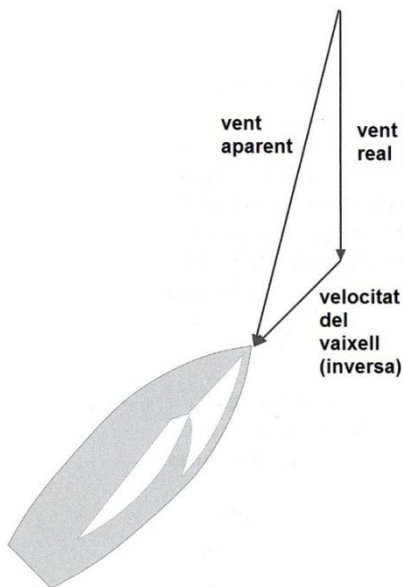
Quan en un vaixell es caça massa la vela, es mou el timó bruscament, o es tracta d'accelerar de cop ajustant tot al mateix temps, les veles entren en pèrdua. Per tant en rumbs "tancats" com la cenyida, on la força de sustentació és deguda majorment per la velocitat del pas del flux per la cara de sotavent, és

important mantenir el flux laminar al màxim per tal que el despreniment arribi el més tard possible.

### **3.6. EL VENT APARENT**

El vent que rep el vaixell es combina amb el seu moviment propi, donant lloc al que s'anomena vent aparent o relatiu, de diferent direcció i intensitat que el real i, que és el que reben, en realitat, les veles de l'embarcació. A mesura que el vaixell augmenta de velocitat, al vent real se li ha de sumar el generat per la pròpia velocitat del vaixell. A aquest se li diu vent relatiu o aparent. Com més velocitat tingui un vaixell, per a una mateixa velocitat de vent real, el vent aparent vindrà de més a proa i al inrevés.

Per entendre aquest concepte utilitzem els vectors del vent i de la velocitat del vaixell:



*Il·lustració 18- Vent aparent*

Quan la velocitat del vaixell augmenta, aquest vector s'allarga ja que n'augmenta el mòdul, i això fa que la resultant, que és el vent aparent, variï el seu angle, fent-se més agut, per tant vindrà de més a proa.

## **4. LES VELES**

### **4.1. LA VELA MAJOR**

Antigament la major era realment la vela principal de la embarcació, la que donava la major força, Però no sempre la major és la vela més gran del vaixell, de vegades les veles de proa són més grans. Amb el temps han canviat moltes coses i la importància de la major en el rendiment total del vaixell ha disminuït lleugerament.

La tendència en els últims anys ha sigut la d'augmentar la relació d'aspecte, que és la divisió entre la altura i la amplada de la vela. Aquesta tendència estava limitada en el passat per la tecnologia dels màstils, i es va frenant actualment a mesura que s'arriba a un punt en que un augment en la relació d'aspecte incideix negativament en la eficiència del vaixell.

La vela major és imprescindible tenir-la ben trimada per tal que es pugui governar correctament el vaixell amb el timó.

Els navegants, i sobretot regatistes, acostumem a exigir unes característiques determinades a una vela .

Que ens proporcioni la força necessària per propulsar el vaixell a la velocitat desitjada en el cas de embarcacions amb una sola vela, o que la major i el floc, funcionin, com una sola vela, de manera que el floc millori l'efecte de la corrent circular al voltant de la major, i viceversa. Mentre el floc, que es podria dir que és la part davantera de l'aparell, desenvolupa un major percentatge de l'energia, aquesta energia tan sols es podria dur a terme, gràcies a l'acceleració de l'aire que li proporciona la major.

Cal afegir que la major ha de ser una vela versàtil, es a dir l'hem de poder adequar als diferents tipus de vents, ja que no la podem canviar depenent de la intensitat i direcció del vent, tal i com fem amb els flocs.

A l'augmentar el vent, la major l'hem de poder aplanar, i si el vent segueix augmentat, haurem de poder seguir reduint la seva superfície (fer rissos), mantenint, això sí, la seva associació amb el floc, ja que el que no es pot fer es



que aplanem o disminuïm la superfície vèlica, però que el floc i la major no actuïn com a una sola peça.

Al contrari d'un floc, la major, està unida per dos dels seus costats, el pal subjecta el gràtil, i la botavara, subjecta el pujament. A més la vela principalment, està subjectada pels seus tres punys (d'escota, d'amura, i de drissa).



*Il·lustració 19- vela major d'un Farr 40*

## 4.2. FLOCS I GÈNOVES

El floc i el gènova són les veles "de proa" del vaixell, la diferència entre ells recau en la mida. El floc té una mida compresa entre els límits formats per la coberta del vaixell, el màstil i l'stay, mentre que el gènova és més gran i el puny d'escota arriba més lluny del màstil de manera que la baluma queda parcial o totalment sobreposada a la major. A la pràctica, en vela lleugera se li anomena floc a la vela de proa tot i que generalment és una mica més gran que si ens cenyim a la descripció anterior de floc.



*Il·lustració 20- Gènova de kevlar*

Els gènova es classifica segons el percentatge de solapament amb la major. Cada classe té especificat un límit d'aquesta mesura. Això es mesura traçant una línia perpendicular al gràtil que passi pel puny d'escota (anomenada LP) i calculant quin percentatge respecte la distància que hi ha entre el màstil i l'stay arran de coberta ocupa aquesta línia.



*Il·lustració 21- Embarcació flying dutchman que es caracteritza per tenir un alt percentatge de solapament*

Així un gènova al 150% vol dir que tindria un LP un 50% major que la longitud del màstil al stay.

Per maximitzar la superfície, aquestes veles acostumen a arribar fins arran de coberta.

Les veles de proa tenen uns "avantatges" respecte la vela major:

- No reben un vent pertorbat per res, la seva superfície d'atac està neta, no té al davant un màstil que el pertorbi.
- La seva força vèlica es beneficia de la presència de la major.
- La seva força està més ben orientada

La vela de proa té la funció de captar el vent i desviar-lo per a obtenir la seva força i intentar sempre proporcionar un sistema de flux correcte per a la major.

### **4.3. L'SPINNAKER**

L'spinnaker o spi és una vela especial que s'utilitza en els vaixells quan es navega en rumb oberts (empopada llarg i través). L' Oxford English Dictionary diu, sense gaire certesa que la paraula spinnaker prové del mot "Sphinx", que és el nom de l'embarcació que va portar per primer cop allà el 1866 un tipus de vela semblant al que coneixem actualment com l'spi.

Presenta una forma simètrica i té aspecte de globus, va acompanyat sempre del tangó, que es una espècie de botavara que aguanta el puny d'amura de l'spi. Va hissat a la part davantera del pal, pot arribar fins "a topall de pal" o en punts entremitjos, però sempre per sobre de l'stay perquè sinó s'enredaria.

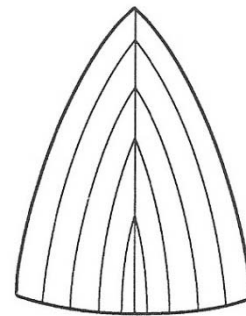


*Il·lustració 22- Embarcació 470 navegant amb spi*

En general, el spinnaker es caracteritza per tenir una superfície vèlica i una profunditat bastant superior a la de qualsevol gènova o major. Això permet augmentar el valor de la força d'avanç a partir d'un cert angle del vent aparent. Actualment, aquesta vela s'empra des d'angles de vent aparent propers als 70° fins a angles de 180° (navegació en popa rodona). Com pot ser que la vela sigui eficient per a angles tant diferents, i consegüentment, per a comportaments aerodinàmics tan diferents? La resposta està en que és una vela que canvia de forma fàcilment: pateix grans desplaçaments i té diversos mecanismes per a modificar la seva forma. Així doncs, apareix novament el navegant encarregat de trimar l'spi, que s'encarrega d'adequar la vela a cada situació de navegació.

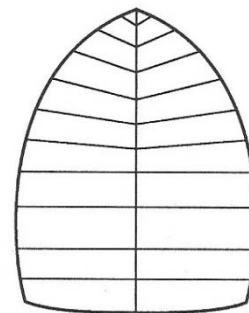
Els spis també han evolucionat molt i els podem classificar en els següents tipus:

Ratsey- El primer tipus d'spi modern va ser creat per Ratsey & Laphorn a Nova York, tenia forma de V invertida, amb una costura comú al mig de dalt del puny de drissa vertical cap avall.



*Il·lustració 23- Spi Ratsey*

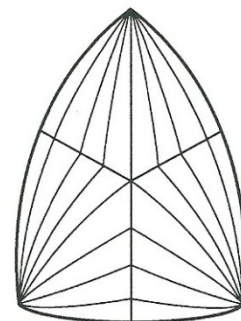
Cross-cut (tall horitzontal)- Dissenyat per Ted Hood cap als anys 50, com que les majors i els gènoves de la època ja es dissenyaven amb panys horitzontals, ell va pensar que també podria funcionar aquesta tècnica mb els spis. Va provar orientant els panys en diferents angles des de verticals fins horitzontals i el que donava millor rendiment va resultar ser el de panys orientats horitzontalment, que ofería una superfície projectada més gran navegant. El seu model presentava una forma de U invertida.



*Il·lustració 24- Spi Hood cross-cut*

Degut a l'excessiu estirament que patien els teixits, sobretot a la zona del puny de drissa en els spis grans, a principis dels anys 70 van aparèixer els spis radials, que van tenir diverses variacions.

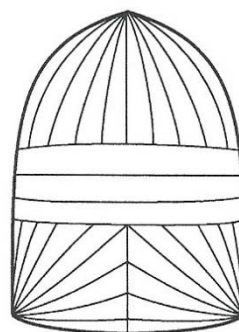
Starcut (tall en Estrella)- Aquest model el va dissenyar la veleria Bank Sails, i consistia en aplicar el principi de les veles radials als spis.



*Il·lustració 25- Spi Banks starcut*

Radial-head- Desenvolupat per Hard Sails, era una combinació del tall horitzontal amb el tall radial. La part superior del spi (on s'havia detectat que l'estirament dels teixits era molt gran) estava confeccionada amb tall radial, panys molt estrets disposats verticalment cap al puny de drissa, mentre que la resta de la vela era de panys horitzontals.

Tri-radial- Aquest spi sorgeix de la combinació dels avantatges del radial-head i l'starcut. És un disseny de North Sails, es redueix l'estirament perquè les tensions que pateix l'spi al llarg de cadascun dels seus vèrtexs, segueixen els fils de l'ordit en cada pany de tela.



*Il·lustració 26- Spi tri-radial*

## **4.4. NOVES VELES**

### **4.4.1. SPI ASIMÈTRIC**

L' spi asimètric és un nou concepte de vela que va aparèixer per primer cop al voltant del 1980 amb els vaixells de la classe 18 peus a la badia de Sydney. A partir dels anys 60 es va descobrir que s'arribava més ràpidament a un punt situat en la direcció del vent navegant fent bordades en un rumb més tancat, que directament d'empopada. Després d'un dia de regates allà a la badia, els regatistes van comentar que durant tot el dia no havien obert el tangó, és a dir que el puny d'amura del spi havia anat tot el dia situat ben a prop de l'stay, i això va donar que pensar. Com que els vaixells aquells són tant ràpids, inclòs quan naveguen a favor del vent tenen un angle de vent aparent molt tancat, per això no podien obrir més el tangó.

Arrel d'això es va començar a treballar en un nou disseny de vela per optimitzar el rendiment dels vaixells en aquella situació, i d'aquí va néixer l'spi asimètric.

Aquesta vela és una espècie de mescla entre un gènova i un spi, i igual que l'spi, també s'utilitza amb vents portants. És asimètric com un gènova, però es diferencia en que no va relingat a l'stay. Es munta com un spi, però el puny d'amura va unit al casc, a la proa, o en la punta d'un botaló. És una vela molt més embossada que el gènova, quasi tant com un spi, es busca un perfil òptim que doni la major sustentació en angles d'atac molt grans, però sense arribar a anar d'empopada.

El spi asimètric és una vela concebuda principalment per els vaixells de regates, per cobrir la diferencia de rendiment entre un gènova i un spi en rumbos oberts. Però la maniobra del d'aquesta vela resulta ser més simple que la del spi, ja que en les trabujades no s'ha de bascular, perquè el puny d'amura es pot quedar al mateix punt i la vela pot rotar sobre ell.



*Il·lustració 27- Vaixell de la classe Open 70 navegant amb l'asimètric. <http://www.autoblog.com>*

#### **4.4.2. CODE 0**

Aquest tipus de vela va ser desenvolupat per les investigacions fetes pels competidors de la Volvo Ocean Race i la Copa Amèrica.

Es podria dir que el Code 0, és una mescla entre un spi asimètric i un gènova. Són més grans que un gènova però una mica més plans que un asimètric i la corba del gràtil d'un Code 0 és lleugerament positiva però no tant com la d'un asimètric.

Aquest tipus de vela com es munta com un gènova, amb el gràtil relingat a l'stay, es pot enrotllar amb l'ajuda d'un enrotllador, el que fa molt més fàcil posar-lo i treure'l, sobretot quan les condicions meteorològiques són adverses. El puny de drissa ha d'anar més amunt del pal que el del gènova, perquè sinó no hi cabria, i el puny d'amura ha d'estar situat més a proa que el del gènova

també, per la mateixa raó. Molts cops per això s'utilitza també un botaló, com en els asimètrics.

La maniobra d'un Code 0 és igual que la d'un gènova, tan sols canvia que al ser més gran suportarà més esforços. Amb un rang de vents de 5 a 10 nusos una vela Code 0 dóna molt bon rendiments amb uns angles de vent aparent d'entre 35-45 graus fins a 115-125 graus.



*Il·lustració 28- Embarcació Puma navegant amb el code 0*

#### **4.4.3. VELES RÍGIDES**

A la vela rígida, també se l'anomena ala, perquè és com una ala d'avió. La diferència bàsica entre una vela i una ala d'avió, és que una vela té una única superfície, mentre que l'ala d'un avió té gruix. A l'avió, a l'existir dos curvatures diferents, cadascuna d'elles queda optimitzada per millorar la 'circulació' de l'aire, millorant notablement la sustentació i per tant la potència de les veles.

La dada important és que a igualtat de dimensions, una vela rígida dissenyada amb doble superfície i en tot semblant a la d'un avió, és capaç de generar un 50% més de potència que les veles típiques dels nostres velers de sèrie, disminuint a la meitat la resistència induïda.

La vela rígida es va fer "famosa" quan el sindicat americà es va presentar a la copa Amèrica del 1988 amb un catamarà amb una vela rígida, feta de fibra de carboni, i recoberta de mylar i dacron.



*Il·lustració 29- El trimaran Oracle amb la major rígida*



## **5. EL TRIMAT**

S'entén per trimat el conjunt d'ajustaments que es realitzen a la vela i als elements del vaixell, per aconseguir millorar el rendiment de l'embarcació en funció de les condicions de navegació existents (intensitat de vent o tipus d'onada). No tan sols és una qüestió de guanyar velocitat per guanyar regates, sinó que també és la forma de fer navegar millor el vaixell, més còmode i segur.

Sembla contradictori dir que a vegades és necessari no aprofitar tot el vent que podríem, però en canvi volem seguir tenint la màxima velocitat del vaixell. De vegades és necessari si les condicions són extremes, com en el cas de vent molt fort.

Per a això es parteix d'un bon disseny, apropiat per al tripulant o per el tipus d'embarcació en que s'haurà d'usar. A partir d'aquest disseny el(s) tripulant(s) són els encarregats de trimar les veles per adequar-les a les condicions del moment.

### **5.1. ELEMENTS DE TRIMATGE**

Disposem de diferents elements per al trimatge del vaixell:

En el cas dels creuers hi ha la anomenada "eixàrcia fixa" que és el conjunt d'elements que sostenen el pal, i que ens permeten donar-li de partida unes tensions i una pre-flexió, però que durant la navegació no es toquen. Son:

- Stay: és normalment un cable que aguanta el màstil per la proa. Va des de la proa del vaixell fins a dalt de tot del màstil o quasi fins a dalt.
- Obencs: Són normalment cables que aguanten el pal pels laterals. Surten del costat del vaixell i pugen fins al pal a diferents altures passant per unes creuetes que també es



Il·lustració 30- Eixàrcia d'un veler

poden regular obrint o tancant, i això variarà el tir dels obencs.

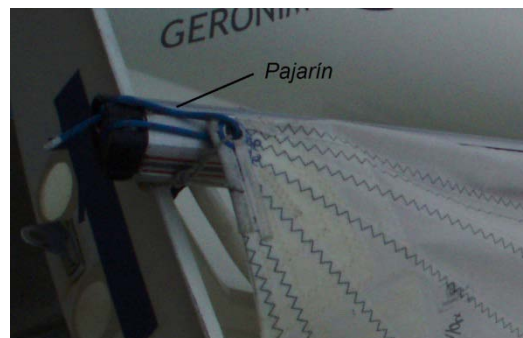
- **Backstay:** també es pot considerar eixàrcia fixa, tot i que avui en dia els o amollar per així tenir més opcions per trimar el pal. És un cap o cable que va des de dalt de tot del pal fins a la popa i la seva funció és aguantar el màstil perquè no es caigui o es trenqui cap endavant.
- **Burdes:** És un sistema de caps desmultiplicat amb politges que parteixen des de els costats del pal a una certa altura (pot partir des de diversos pisos) fins a les dues aletes. Són necessàries sempre dues burdes. El que provoquen quan el tensem és que impedeixen que el màstil flexi massa quan fa panxa cap a proa degut a la compressió soferta per les tensions i la força del vent.



Il·lustració 31- Detall de les burdes d'un Imoca 60

La “eixàrcia de labor” són els elements que modifiquen pròpiament la forma de la vela o la desplaça. En cada vaixell els sistemes són diferents però més o menys coincideixen en bastants punts, son els següents:

- **Drissa;** és el cap que s'utilitza per hissar la vela al pal a l'hora de trimar, com més tensió se li doni, més avançarem la bossa de la vela.
- **Pajarín;** és un cap que passa pel puny d'escota i controla la tensió a la part del pujamen. A més tensió, més aplanarem la zona inferior de la vela, i atraçarem la bossa.



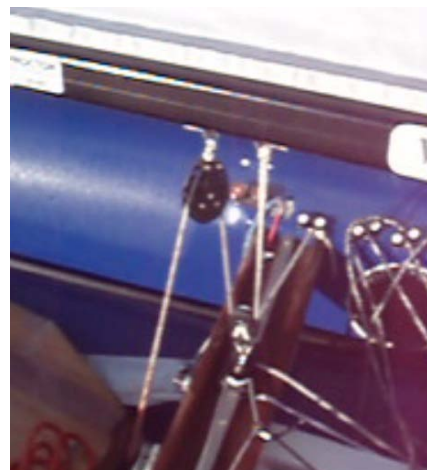
Il·lustració 32- Detall del sistema de pajarín d'un europa

- Cunninghams; A l'europa en tenim dos el "cunningham alt" i el "cunningham baix". L'alt és un cap que passa per un ullet situat a la part baixa del gràtil de la vela que quan el cacem, avança o ajuda a mantenir la bossa avançada, i el baix, també anomenat "amura", és un cap que passa pel puny d'amura i fa el mateix efecte que el pajarín però en sentit contrari. També aplanava la part inferior de la vela si el cacem, però provoca que s'avanci la bossa de la vela. En molts vaixells només hi ha l'alt i es prescindeix del baix que pot anar fix.



Il·lustració 33- Detall del sistema de cunninghams d'un europa

- Contra; és un cap o un sistema mixt de caps i cables que controla la tensió de la baluma independentment de si la escota està caçada o no.
- Barra o carro d'escota; és un carril amb un carro on s'hi situa una politja per on passa l'escota de la major, que quan l'obrim o tanquem tot el perfil de la vela s'obre respecte l'eix de cruïxa uniformement sense variar la tensió de la baluma.
- Escota; a part de tots aquests elements tenim la escota que controla el caçat de cada vela, sense ella no es pot navegar és la eina per orientar la vela i la que suporta la tensió que transmet la vela.



Il·lustració 34- Barra d'escota d'un europa

A part de tots aquests elements mencionats, també tenim la opció de modificar la inclinació del màstil en el sentit proa-popa, d'això se li diu "la caiguda". En els vaixells de dues veles es modifica mitjançant les tensions del stay i dels obencs. En els vaixells d'una sola vela que permeten aquesta possibilitat (com l' Europa) es fa mitjançant una peça anomenada " carlinga" que és on es col·loca el màstil a dins del casc. La carlinga és una peça que consta d'un vas on s'introdueix el pal i que es desplaça endavant i enrere amb l'ajuda d'un sistema cargol-femella. Al desplaçar-se el pal pivota en la fognadura, i quan movem la peça enrere la part superior del pal es desplaça endavant i viceversa. D'aquesta manera podem desplaçar el centre vèlic més endavant o més enrere segons ens convingui per les condicions que tenim.

## **5.2. FACTORS A TENIR EN COMPTE**

Per donar la forma correcta a una vela i trimar-la bé, s'ha de tenir en compte diferents factors, tant a l'hora de dissenyar-la com navegant:

### **CORBA DEL GRÀTIL**

És un element molt important en el disseny d'una vela. Quan es vol fabricar una vela, s'ha de tenir molt en compte en quin màstil anirà envergada i quines són les característiques de flexió d'aquest.

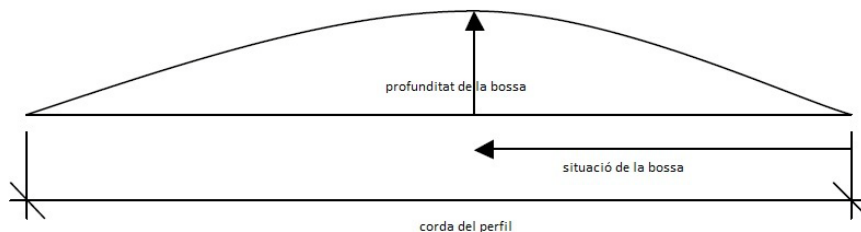
La corba del gràtil de la vela s'ha de correspondre amb la corba de flexió del màstil, en cas de no ser així, quan el màstil es flexioni per la acció del vent, del backstay o les burdes, no absorbirà la bossa de la vela de manera regular, sinó que hi haurà zones de la vela que quedaran més planes i d'altres que quedaran més embossades.

Així per màstils més tous, la vela haurà de tenir més curvatura de gràtil perquè flexionarà més i com més durs siguin haurà de tenir-ne menys.

### POSICIÓ DE LA MÀXIMA PROFUNDITAT

La profunditat de la vela està definida com un percentatge de la corda (distància del gràtil a la baluma) de la vela en un punt donat. Per exemple, una profunditat de 30cm en una punt on la corda de la vela fa 3 metres, es descriu com una profunditat del 10%.

La posició màxima profunditat s'expressa com un percentatge de la distància des del gràtil fins al punt on la profunditat de la vela és màxima, respecte la distància total de la corda. Així si el punt de màxima profunditat està situat al mig de la corda, parlem d'una posició del 50%.



*Il·lustració 35- posició de la màxima profunditat de la vela*

### ANGLE D'ATAC

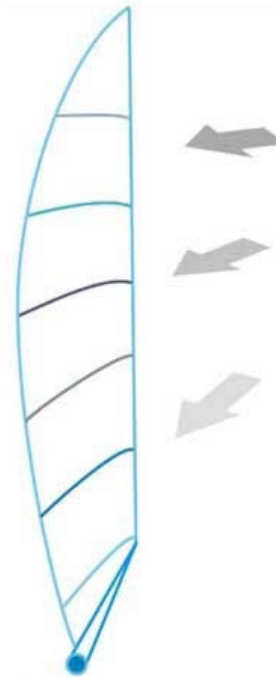
És l'angle que forma la recta tangent a la corba al gràtil i la línia de la corda. Aquest angle serveix per mesurar quant rodona és la corba en aquest punt.

En condicions generals, una vela embossada tindrà més potència que una vela plana, però en canvi tindrem un angle d'atac més petit i per tant un angle de cenyida pitjor, per el contrari una vela més plana ens permet portar un rumb més tancat cap a la direcció del vent, un angle d'atac menor, però ens donarà una empenta inferior i ens restarà potència.

## EL TWIST

El twist és l'angle que forma la corda de cada secció respecte la línia de la base de la vela.

S'ha de tenir en compte que de la mateixa manera que el vent perd velocitat al passar a través del perfil de la vela, també hi ha fricció quan el vent passa per sobre del mar o de la terra. Per aquesta raó la velocitat del vent va incrementant amb la altura, per tant a la part superior de la vela al haver una velocitat del flux superior, també és superior l'angle del vent aparent.



*Il·lustració 36- Twist d'una vela*

Per això, és lògic, modificar lleugerament el perfil al llarg de la vela per així conservar un valor uniforme de l'angle d'atac, per la mateixa raó que una hèlix està enrotllada sobre ella mateixa per tindre en compte la diferència de velocitat lineal en els seus diferents punts.

- ELS INCONVENIENTS DEL TWIST: El principal inconvenient del twist és evidentment que tan sols una part de la vela és orientada a l'angle d'atac desitjat. Però a la pràctica, pensant en el flameig de la part alta de la vela ens apareix un altre problema, per evitar que flamegi una part de la vela "poc important", degut a la seva reduïda superfície, es caça exageradament el conjunt de la vela, i es tenen moltes probabilitats de treballar en "ruptura", (dins d'uns límits de tensió on el material pot trencar-se amb facilitat) i apart del problema material que suposa, també provoca que la major part de l'empenta de la vela estigui dirigida molt perpendicularment respecte l'eix cruixia i el vaixell tingui molta més tendència a orsar que a avançar en la direcció deguda. Un problema afegit a aquesta situació, és que si intentem corregir el rumb amb el timó, els angles que agafa la pala del timó són totalment desastrosos pel que fa a la resistència a l'avanç del vaixell.

En el cas de navegar d'empopada els problemes són uns altres, la situació ideal seria que totes les forces puntuals produïdes a la vela fossin paral·leles a l'eix de cruixia (la direcció en que volem avançar), però en la realitat això és impossible, i en la part alta de la vela, l'angle respecte l'eix de cruixia és excessiu, i, per una part, implica la disminució de la superfície de la vela exposada al vent, quan precisament en aquest rumb (contràriament als altres) l'empenta és proporcional a la superfície exposada, i per altra banda l'empenta de la zona alta de la vela en comptes de ser paral·lela al eix de cruixia és dirigida en direcció a barlovent, el que provoca que el vaixell sigui més inestable i s'escori en aquesta direcció, amb el perill de bolcar fàcilment si les condicions de vent són prou dures

### EL CANAL

Quan parlem del canal en un vaixell de vela, ens referim a l'espai que queda comprès entre la major i el foc quan naveguem de cenyida (amb el vent quasi de proa). Quan acostem dues veles, arriba un moment en que els seus espais d'influència interfereixen, i aquesta interacció entre el foc i la major té una gran repercussió en el rendiment total del vaixell.



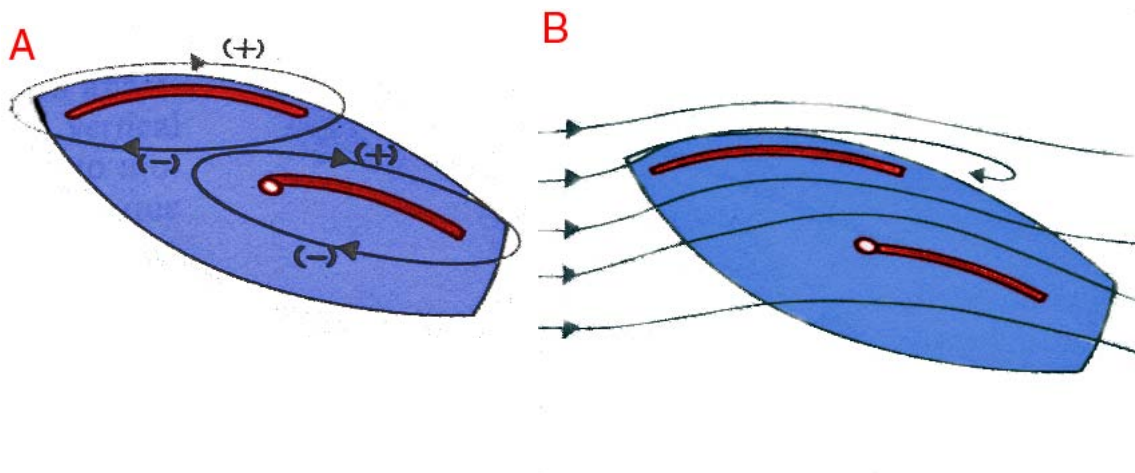
*Il·lustració 37- Canal entre major i gènova*

En el canal, la circulació de l'aire del foc i la major van en sentit contrari. Existeix una amplada òptima del canal, per a cada aparell i condicions de vent, que hauria de ser el més constant possible al llarg de la seva altura. Si aquest canal és massa ample, el corrent que està guanyant velocitat a sotavent de la

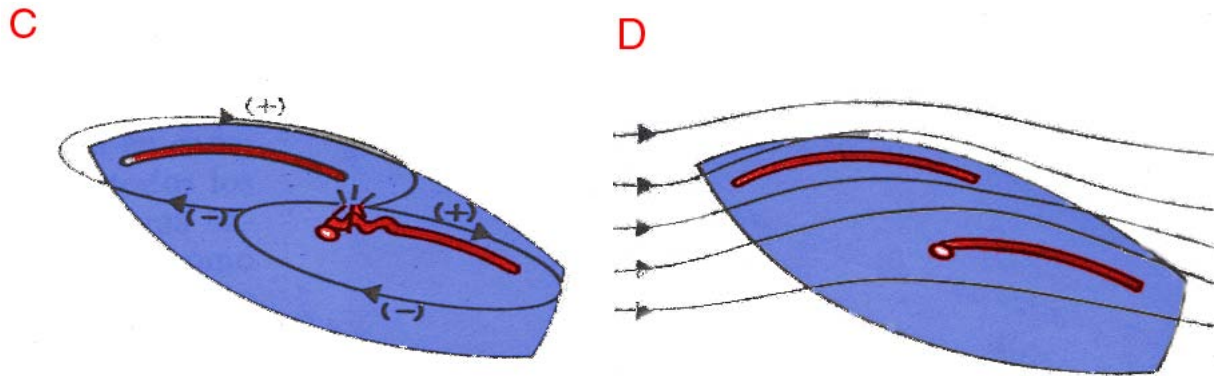
major no estarà suficientment a prop del corrent que arriba per la cara de sotavent del floc com per atraure'l i ampliar la seva trajectòria. Per el contrari, si és massa estret, el corrent més lent a barlovent del floc, farà disminuir la velocitat del corrent més ràpid a sotavent de la major.

En qualsevol dels dos casos, la corrent que genera força motriu, sobre les dues veles, és interrompuda total o parcialment, si el canal és massa ample o massa estret. Per tant, és fonamental, ser capaços d'ajustar la curvatura de la major a la forma de la baluma del floc.

Com afecta la major al genova:







*Il·lustració38 – Com interfereixen les circulacions al voltant del floc i de la major en el canal*

En la situació (A), el canal col·labora a crear un corrent circulatori eficaç. Si es massa ample com en (B), el corrent a sotavent del floc es desprendreà. Si és massa estret (C) , els corrents circulatoris xocaran entre ells.

És en la situació (D), que les dues veles funcionen juntes correctament.

## **6. LA TRIPULACIÓ I LA SEVA TASCA**

La tripulació és el conjunt de persones que s'embarquen en un vaixell per dur a terme les tasques que es requereixen. La tripulació depèn principalment del tipus de vaixell en què s'hagi de navegar, i sempre està regulat per les normes de classe i/o per les instruccions de la regata en què es participa.

Existeixen vaixells individuals, on les normes de classe tan sols permet un tripulant per embarcació, per exemple la classe Europe, optimist, o el finn, d'altres que són classes dobles on les normes només permeten dos tripulants, com la classe 420, el 470, o el 49er, i així hi ha molts tipus de classes, aquestes que he mencionat són classes de vela lleugera, però en la vela de creuer també hi ha limitacions per exemple antigament en la Copa Amèrica, quan es navegava amb els vaixells de la versió 5, el límit era de 17 tripulants (més un invitat obligatori).

La tripulació també depèn de les instruccions de la regata en què es vol participar, així per a una mateixa embarcació hi haurà regates en la què podrà anar amb un nombre determinat de tripulants, mentre que en una altra regata haurà de variar aquest nombre. Per posar un exemple prenc dues regates en concret, com la Vendée Globe i la Barcelona World Race, totes dues es celebren amb el mateix tipus d'embarcació, la classe Open 60, que són vaixells preparats per travesses llargues i voltes al món, en el primer cas és una regata en solitari, mentre que en la de Barcelona és una regata a dos (dos tripulants).

Un altre factor que fa variar el nombre de tripulants en una classe és el pes. Hi ha moltes classes, sobretot monotips, que no limiten el nombre de tripulants sinó que limiten el pes total de la tripulació i així cada equip s'ha de configurar la tripulació tenint en compte aquesta limitació. Un exemple d'aquests és la classe Platú 25 on el pes màxim de la tripulació es de 400Kg.

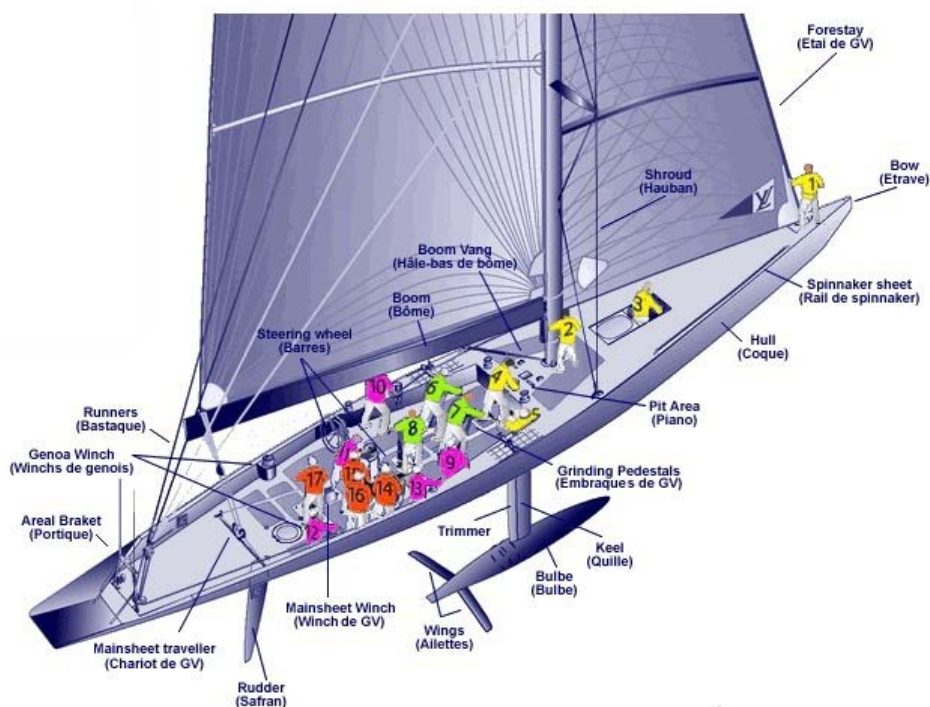
Cada classe de vaixell és diferent, les diferències poden recaure en la mida, les formes, el nombre de veles, etc... per tant la tripulació no realitza la mateixa tasca en una classe que en una altra. Degut a això no es pot fer una descripció exacte de les tasques a realitzar en cada tipus d'embarcació perquè hi ha un gran ventall, però si que ho faré a continuació de manera orientativa.

En els vaixells individuals, al membre de la tripulació se'l anomena patró, la seva tasca consisteix en fer-ho tot, portar el timó per governar el vaixell, encarregar-se del trimatge de la vela o veles, també de la tàctica amb tot el que comporta (llegir els instruments, mirar el compàs, controlar la flota, etc...)

En els vaixells dobles, com el 420 o el 470, la feina es reparteix entre el patró, que és qui porta el timó, i el tripulant. El patró s'encarrega de governar el vaixell amb el timó, controlar la vela major amb la escota de major, i controlar la drissa de l'spi per hissar-lo o arriar-lo quan calgui; mentre que el tripulant s'encarrega de les altres veles (floc i spi) i de l'estabilitat de la embarcació. Per la part tàctica, cada tripulació té la seva manera de fer, hi ha en què s'encarrega el patró, d'altres que decideix el tripulant, i d'altres que prefereixen compartir i opinar els 2 (normalment és mala opció).

Un exemple de canvis entre dues embarcacions dobles és el 49er, que comparant amb l'exemple del 420 es poden apreciar diferències com que el tripulant s'encarrega de la escota de la vela major i el patró només del timó, però alhora d'hissar el gennaker el tripulant li passa la escota de major al patró, i és el tripulant qui ho fa tot controlant la drissa.

En embarcacions de regata més grans, i ja no del grup de vela lleugera, apareixen més posicions. Cada equip organitza la seva tripulació de regates de manera diferent. S'estableixen les funcions de cada posició depenent de les qualitats i experiència de cada tripulant, però hi ha una organització típica bàsica on hi ha:



Il·lustració 39- Detall de cada posició en un vaixell versió 5 de la Copa Amèrica

- El "proa", ha de ser àgil i fort. S'encarrega de muntar les escotes, les drisses, la braça de l'spi i el tangó; prepara les veles de proa, baixa o puja el tangó i es puja al pal quan hi ha algun problema que solucionar allà dalt. També s'encarrega durant la sortida de marcar les distàncies respecte els altres vaixells o la línia. A la il·lustració és el tripulant número 1.
- El "pal" ha de coordinar-se directament amb el «piano» especialment al hissar veles, ja que utilitza el seu pes per ajudar amb la drissa alhora que el «cofee» i el «piano» la recuperen. En les trabujades d'spi acostuma a treballar amb l'equip de proa. A la il·lustració és el tripulant número 2.
- El "segon proa", es una posició on s'exigeix força, agilitat, equilibri i també estar a prova de marejos. Treballa a coberta amb el «pal» i el «piano» en els canvis de vela. També és l'encarregat de fer de «topo»,

preparant les veles sota coberta després de qualsevol canvi. A la il·lustració és el tripulant número 3.

- El piano treballa amb l'equip de proa. S'encarrega de les drisses i canvis de vela y moltes vegades fa també de "coffee, per això ha d'estar molt fort. A la il·lustració és el tripulant número 4 i 5.
- Els "coffees" o "grinders" s'encarreguen dels winchs per hissar qualsevol vela, virar o trabujar. Tenen molta carrega física, moments puntuals de gran esforç en les maniobres, i seguit de períodes de inactivitat. A la il·lustració és el tripulant número 6,7 i 8.
- Els "trimmers", són els encarregats de trimar les veles, així tenim el trimmer de major, el de foc o gènova, el de spi o gennaker, que decideixen com ha d'anar la "seva" vela en cada moment i manen als altres membres ordres per tal de que les veles estiguin trimades com ells ho creguin més convenient. Es coordinen amb el patró per configurar les veles d'una manera o una altre per tal que el vaixell navegui de la manera que es desitgi en cada moment. En ocasions es necessitarà més velocitat i es sacrificarà l'angle de cenyida o a la inversa. A la il·lustració és el tripulant número 9, 10, i 11.
- El "patró" té la última paraula en les decisions tàctiques del vaixell. És el que governa el vaixell i és responsable de maximitzar la velocitat en totes les situacions. Ha d'estar preparat para respondre en situacions ràpides, y saber instintivament on col·locar el vaixell en tot moment. A la il·lustració és el tripulant número 14.

- El "navegant" es el responsable de l' anàlisi de resultats y números del vaixell, per poder transmetre la informació al patró, al tàctic i a l'estratega. A la il·lustració és el tripulant número 15.
- El "tàctic" i "l'estratega" treballen en aconseguir fer una millor tàctica. L'estratega treballa a llarg termini, mentre que el tàctic decideix en les situacions compromeses. Els dos ajuden a la tripulació en les maniobres més complexes. A la il·lustració són el tripulant número 16 i 17 respectivament.

A aquests quatre últims membres de la tripulació (patró, navegant, tàctic i estratega) se'ls anomena "el cos de popa" ja són les posicions que ocupen els llocs de més a popa del vaixell. I als tres primers se'ls anomena "cos de proa" per ocupar les posicions de més a la proa del vaixell.

També podem trobar altres posicions que com són:

- Els "burdes" que s'encarreguen de controlar les burdes. Moltes vegades d'aquesta tasca s'encarrega el propi tàctic o l'estratega. A la il·lustració és el tripulant número 12.
- El "carro" que és l'encarregat del carro de la major, per trimar bé aquesta vela. D'aquesta tasca moltes vegades se'n ocupa el trimmer de major. A la il·lustració és el tripulant número 13.

En embarcacions més grans el nombre de tripulants pot arribar a ser de més de 25 persones on cadascú desenvolupa un rol diferent, degut a la complexitat de les maniobres i sobretot al pes i mida de les coses. Una vela per un maxi de 25 metres pot arribar a pesar mes de 300 Kg i per manipular-la o fer algun ris es necessiten varies persones.

És molt important que cada membre de la tripulació tingui claríssim quina és la seva tasca a realitzar i no es desviï de les seves obligacions.

## **7. L'EUROPA**

### Història de l'europa:

L' "Europe" prové de Florida (EEUU) on inicialment rebia el nombre de Moth (arna). Era una embarcació de construcció amateur i no tenia regles fixes, només exigia que tingués una superfície vèlica de 7m<sup>2</sup> i una eslora de 3.5 metres. Al 1938 es va importar a França on va rebre el nom de Moth Europe. Posteriorment al 1962 es va decidir adoptar el monotip desenvolupat per Roland a Bèlgica, d'aquesta manera tots els regatistes podrien competir en igualtat de condicions, i l'embarcació va passar a dir-se simplement Europe. Al 1963 es va crear la I.E.C.U. (International Europe Class Union), i al 1976 l'organització I.Y.R.U. (International Yacht Racing Union) va reconèixer al Europe como Classe Internacional. A Espanya va ser introduït per en Carles Masdevall al 1964, que va ser el primer regatista espanyol en aquesta disciplina a participar en regates internacionals.

L'onze de novembre de 1988 es va concedir al Europe, la nominació de Classe Olímpica en categoria femenina per a les olimpíades de Barcelona 92 i la seva última participació en uns jocs olímpics va ser a Atenes 2004.

El casc està construït en fibra de vidre i resina de polièster, actualment s'utilitzen les tècniques més avançades en construcció de vaixells d'aquest tipus com és la infusió al buit. El màstil i la caixa del timó són de fibra de carboni i la vela és de dacron. Per altra banda la orsa i el la pala del timó són de fusta.



### Dades tècniques de la embarcació

Eslora: 3.35 metres

Mànega: 1.38 metres

Altura del màstil: 5.03 metres

Pes del casc: 45 Kg (màxim)

Superfície vèlica: 7 m<sup>2</sup>



*Il·lustració 40- Embarcacions de la classe europa navegant*

### Característiques dels patrons

Segons les estadístiques de la classe, les característiques ideals dels navegants d'aquesta embarcació són les següents:

	PES	Top ten	ALTURA	Top ten
Homes	62 a 75 kg.	65 a 75 kg	1,68m 1,85m	a 1,68m a 1,85m
Dones	52 a 70 kg	60 a 70 kg	1,56m 1,78m	a 1,63m a 1,78m

*Il·lustració 41- Relació de característiques físiques dels patrons de la classe europa*

L'europa és una embarcació d'un sol tripulant, és un vaixell molt complet i tècnic, ja que disposa d'un gran varietat d'opcions a l'hora d'escollir el material que més s'ajusti a les nostres necessitats i també a l'hora de trimar la vela, ja que disposa d'una sèrie de sistemes per configurar d'una manera o altra el nostre vaixell per navegar en diferents condicions de vent i onada.

## **8. ESTUDI AERODINAMIC**

### **8.1. EL CFD**

Els moviments dels fluxos dels fluids (gas i líquid), estan governats per equacions diferencials que representen lleis de conservació per la massa i la energia.

El CFD (Computational Fluid Dynamics) es una de les branques de la mecànica de fluids que utilitza mètodes numèrics i algorismes per resoldre i analitzar problemes que involucren fluxos de fluid. És una àrea de recerca altament interdisciplinària que es troba a la interfície de la física, les matemàtiques aplicades i ciències de la computació.

Ofereix prediccions qualitatives i quantitatives de fluxos de fluids mitjançant:

- Mètodes matemàtics (equacions diferencials)
- Mètodes numèrics (discretització i tècniques de solució)
- Eines de software (solucionadors de pre- i post-processat)

El CFD utilitza un ordinador per resoldre les equacions matemàtiques del problema en qüestió. Els components principals per resoldre aquest problemes amb aquest mètode són els següents:

- Ser humà (analista), qui presenta el problema per ser resolt.
- Coneixements científics (models i mètodes) expressats matemàticament
- Software de l'ordinador, qui encarna aquests coneixements i ofereix instruccions detallades (algorismes) per al hardware
- Hardware de l'ordinador, qui realitza els càlculs
- El ser humà qui inspecciona i interpreta els resultats dels càlculs de la simulació.

Un dels avantatges més significatius d'aquests mètodes per científics i enginyers és que els permet realitzar "experiments numèrics" a través de simulacions amb ordinador. El CFD dóna una idea dels patrons de flux que és difícil, car o impossible d'estudiar mitjançant l'ús de les tècniques tradicionals (experimentals).

Realitzant experiments aconseguim una descripció quantitativa dels fenòmens del flux mitjançant mesuraments. Però tenim uns desavantatges respecte les simulacions com:

- Es pot realitzar una a cada instant
- Per un nombre limitat de punts i períodes de temps
- S'ha d'utilitzar un model a escala de laboratori
- Per a un rang limitat de problemes i condicions d'operació

En canvi amb el mètode de les simulacions aconseguim prediccions dels fenòmens del flux mitjançant software de CFD i tenim els següents avantatges:

- Podem realitzar la quantitat que desitgem
- En alta resolució en espai i temps
- Es poden simular problemes i condicions de operació reals.

Amb els experiments podem cometre errors a la hora de realitzar les mesures, o tenir obstacles que provoquin disturbis en el flux; mentre que amb les simulacions podem cometre errors en el procés de modelat, discretització, iteració i implementació.

Altres avantatges del CFD respecte els experiments és el preu i la velocitat en que es realitzen les operacions ja que amb el CFD és més ràpid. També cal tenir en compte que l'equipament i el personal per experimentar és més difícil de transportar que un software de CFD que és més fàcil de transportar i modificar.

Per norma general, el CFD no substitueix a les mesures per complet, però la quantitat de experiments y el cost total d'aquests poden reduir-se significativament.

Els resultats d'una simulació amb CFD tampoc són mai 100% fiables per les següents raons:

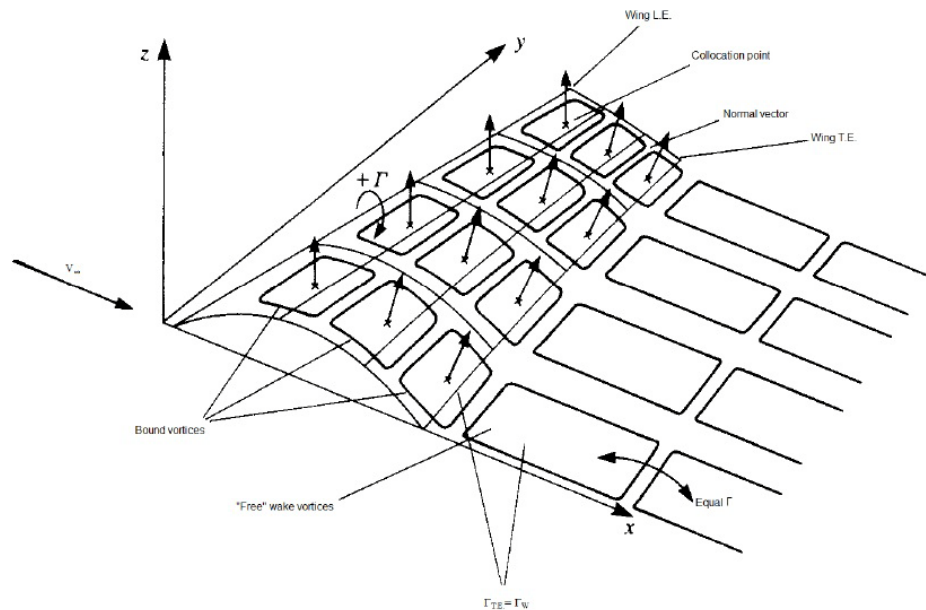
- Les dades d'entrada impliquen masses suposicions o imprecisions.
- El model matemàtic del problema en qüestió pot ser inadequat
- La exactitud dels resultats està limitada per la potència de l'ordinador

## **8.2. EL MÈTODE DELS PANELLS**

El problema de les veles és tridimensional, i per resoldre-ho s'utilitza el anomenat mètode dels panells. Aquest mètode s'ha desenvolupat amb èxit des de 1960 en la indústria aeronàutica. En aquest mètode es discretitzen les geometries, en el nostre cas les veles, i es distribueixen elements singulars en la superfície.

El mètode més econòmic, computacionalment parlant, per resoldre el problema d'una superfície fina sustentable és utilitzar com a elements singulars els anells de vòrtex.

Primer es discretitza la geometria mitjançant elements o panells quadrilàters amb els seus nodes col·locats sobre la superfície i després es distribueixen sobre ella els elements singulars. Com la superfície de la vela és fina, considerarem un gruix nul, de manera que farem servir els mateixos elements per a la cara de succió i la de pressió, i això es pot aconseguir gràcies a l'ús de singularitats tipus vòrtex o doblats.



Il·lustració 42- Il·lustració del mètode dels panells

Cada anell de vòrtex està format per quatre segments de vòrtex, de manera que la velocitat induïda en un punt P per cada anell es pot calcular sumant les velocitats induïdes en aquest punt, per cada un dels segments que formen l'anell. El cos es discretitza en  $N$  panells i la estela en  $N_w$  panells. Es considera que en cada punt P només influeixen els panells que es troben a més de 2.5-5 vegades la diagonal d'un panell. Amb el mètode dels panells obtenim el camp de velocitats com si tot el fluid fos potencial.

Per resoldre el problema, el CFD té el un procés d'anàlisi a seguir.

1.- Primer s'ha de plantejar el problema, donar la informació referent al fluid com:

la densitat ( $\rho$ ), viscositat ( $\mu$ ), pressió ( $p$ ), temperatura ( $T$ ) i velocitat ( $v$ ).

2.- Resoldre el model matemàtic, plantejar les condicions inicials i les de contorn. Si s'especifiquen masses condicions, no hi haurà solució, si se'n especifiquen poques podem tenir múltiples solucions.

3.- Es genera la malla, especificant els nodes o cel·les i els instants de temps.

4.- La discretització del temps i de l'espai, consisteix en convertir les equacions diferencials governants en un sistema de equacions algebraiques.

5.- Solució iterativa, trobar els valors concrets de la funció

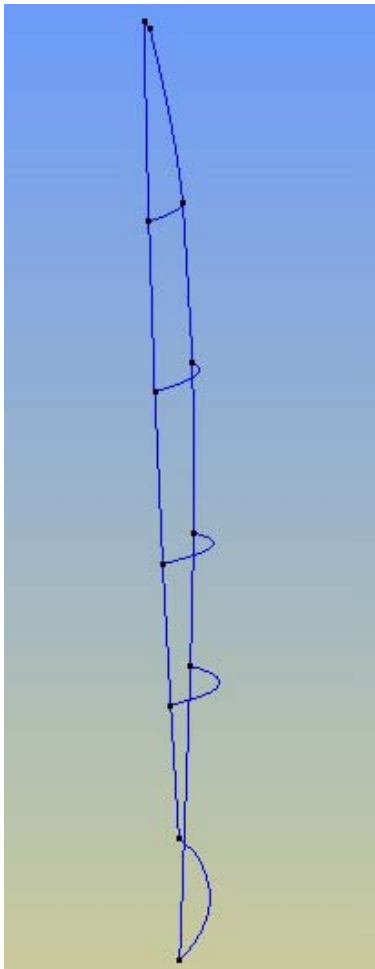
6.- CFD software, implementació i depuració

7.- Simulació d'execució, paràmetres i criteris de aturada

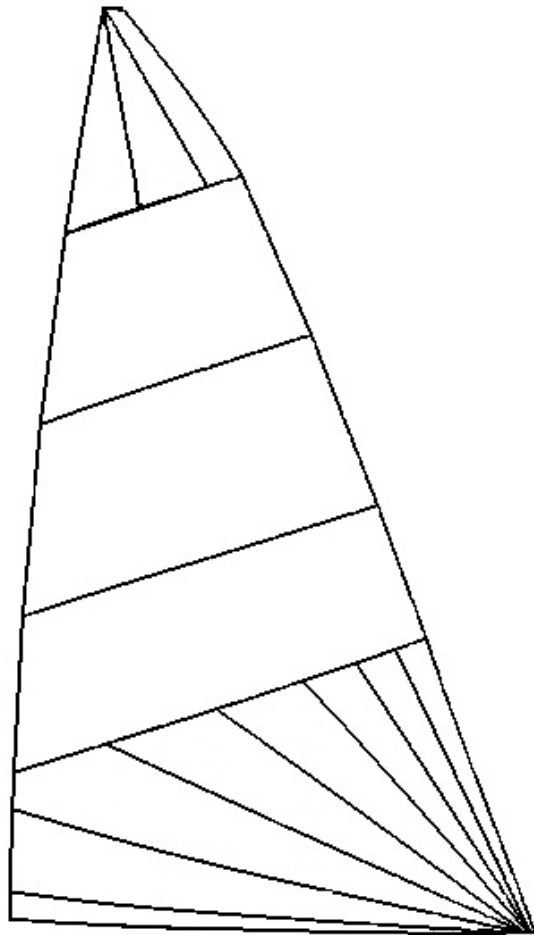
8.- Post-procés, visualització i anàlisi de les dades

9.- Verificació, validació del model o retocs

En el nostre cas, disposem d'un arxiu 3D d'una vela major de la classe Europa facilitat per la veleria Quantum.



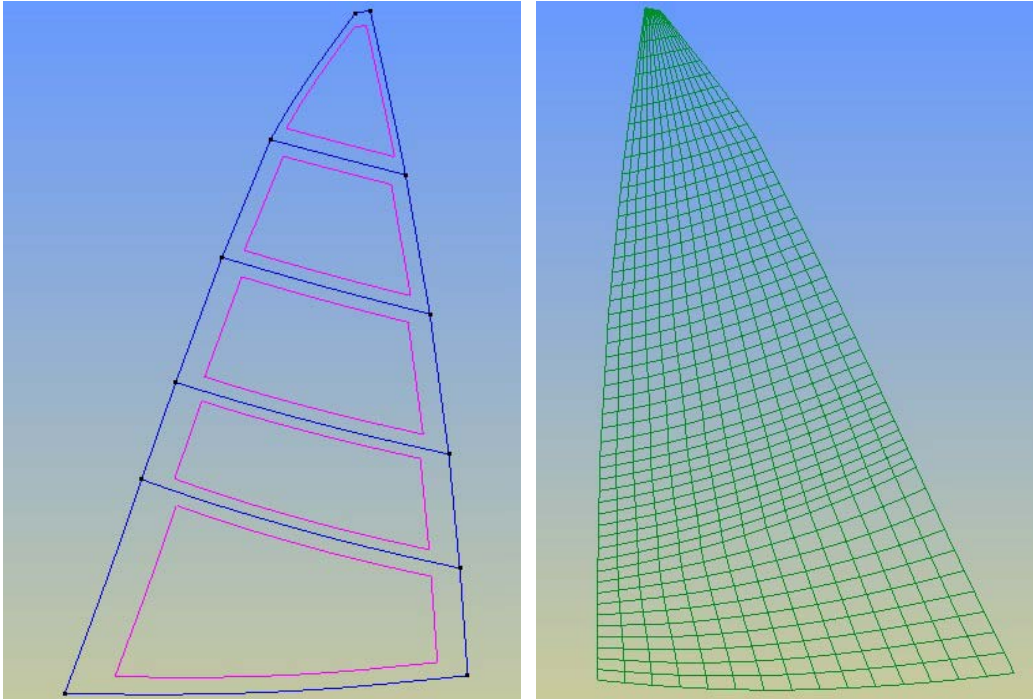
*Il·lustració 43- Imatge de l'arxiu 3D de la vela amb vista des de popa*



*Il·lustració 44- Detall de la distribució dels panys de la major SR4*

Es tracta d'una major model SR4, que significa Semi-Radial versió 4, com es pot observar la distribució dels panys varia al llarg de la vela, sent els panys radials a la part inferior i superior de la vela, mentre que al la part central els panys són horitzontals.

Per poder realitzar els càlculs amb el CFD, primer s'ha retocat el dibuix, ajustant la geometria per a poder treballar amb el mètode dels panells. Després crear les superfícies, i posteriorment generar la malla on li hem assignat 15 superfícies verticals per 10 horitzontals.

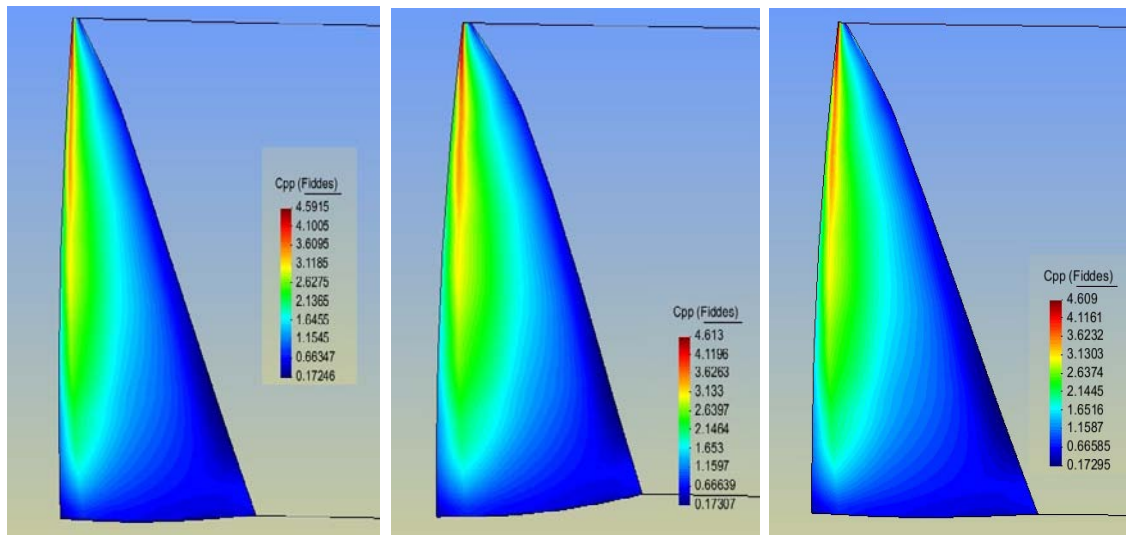


*Il·lustració 45- Imatges del perfil 3D de la major amb la superfície i la malla creades*

Amb la malla generada, s'ha procedit a realitzar els càlculs de la força que desenvolupa aquest perfil.

El post processat apart del valor de les forces, també ens dóna els valors dels coeficients de pressió, que ens indiquen si es una bona geometria o no aerodinàmicament parlant. Aquest coeficients depenen sobretot de l'angle d'atac del vent i no tant de la velocitat, per això com que només s'ha calculat amb un angle d'atac surten uns resultats molt semblants encara que la velocitat del vent variï.





Il·lustració 46- Coeficients de pressió per a les intensitats de vent de 6, 11 i 16,67 nusos

### **8.3 RESULTATS DE L'ESTUDI**

L'estudi aerodinàmic ens ha donat els valors de la força que proporciona la vela per a cada valor de la velocitat del vent que hem volgut estudiar i amb l'angle d'atac que li hem donat, en aquest cas 25°. Els valors de vent que hem estudiat han estat de 6, 11 i 16,67 nusos.

La raó d'agafar aquests valors, és que, generalment amb menys de 6 nusos no es dona la sortida de cap regata ja que és un vent massa fluix, i a partir dels 15 o 16 nusos o més, per experiència pròpia sé que resulta realment complicat mantenir el vaixell pla i estable si el patró té un pes "adequat". Amb això em refereixo a que una persona que pesi 100 quilograms, segurament si que navegaria bé amb 20 nusos de vent, però sent realistes no tindria cap possibilitat de guanyar en un dia que bufés un vent de 10 nusos, ja que tindria un pes excessiu i el vaixell no podria córrer com els demés, ja que sobretot aniria molt enfonsat i la resistència a l'avanç del vaixell per el fregament amb l'aigua seria molt superior a la dels demés que no pesessin tant. I he agafat un valor de vent entremig d' aquests dos valors i he decidit 11 nusos, d'aquesta manera obtindrem 3 resultats dels quals fent la mitjana obtindrè el resultat definitiu.

En el nostre cas, hem obtingut els següents resultats per al nostre perfil:

Velocitat del vent	Fx (N)	Fy (N)
8.2 m/s 16,67	-9,75685	486,761
5,65 m/s 11 kn	-4,25137	211,686
3,08 m/s 6 kn	-1,25274	63,0401

Els valors de Fx i Fy, són resultat de la descomposició de la força total en els sentits de l'eix X i Y, que són els sentit d'avanç del vaixell i el sentit transversal a aquest respectivament.

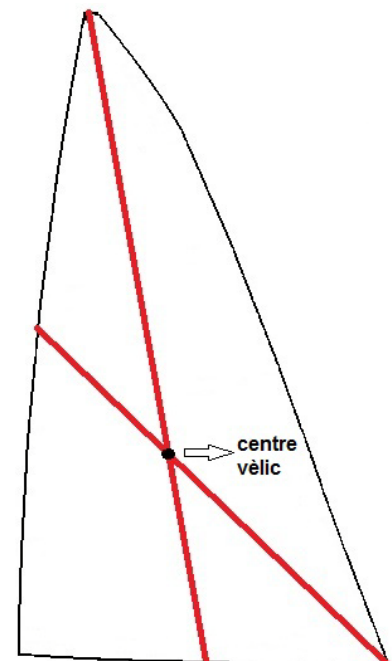
Per al nostre estudi, la força que utilitzarem per a realitzar els nostres càlculs és la força Fy, que és la que provoca la escora del vaixell.

#### **8.4- EL CENTRE VÈLIC**

Les lleis de la física ens permeten considerar l'empenta desenvolupada per un pla vèlic o un pla de deriva (orsa) com si fos aplicada en un sol punt que denominarem centre vèlic i centre de resistència lateral respectivament.

En el cas dels vaixells amb una sola vela, es pot agafar el punt on es troben les medianes del triangle de la vela com a centre vèlic.

En aquest punt és on es pot considerar que s'apliquen les forces trobades amb el CFD.



*Il·lustració 47- Detall de la situació del centre vèlic*

## **9. ESTUDI HIDRODINÀMIC**

### **9.1. EL MODELAT**

Per realitzar l'estudi hidrodinàmic, he modelat el casc de la embarcació amb els seus apèndix, i d'aquí n'he tret els punts característics que necessitava. Aquests punts són: el centre de resistència lateral (CLR) i el centre de carena.

Per a modelar el casc de l'europa he utilitzat el programa de disseny 3D Catia, i la taula d'offsets del casc:

	A	B	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
<b>1</b>	5,5	81	81,5	84,5	90,5	100	116	141	184,5	266	399
<b>2</b>	19	255,5	254	256	264	278	300	330	367	409	456
<b>3</b>	32,5	389	383	377	376	380	390	406	427,5	455	491
<b>4</b>	46	491,5	486	470,5	460	455,5	451,5	455	465	484	514
<b>5</b>	59	566	563,5	546,5	529	512	496	489	492	505	525
<b>6</b>	72,5	619	619,5	602	575	547,5	524	510	506,5	512,5	528,5
<b>7</b>	86	654	657,5	642,5	611	575,5	542	518	507,5	510	522,5
<b>8</b>	99,5	677	683	669,5	632,5	591	550,5	522,5	506	503	511
<b>9</b>	113	691,5	700,5	685	643,5	597,5	553	518	499,5	492,5	497,5
<b>10</b>	126,5	693		698	653,5	598	548	512	488	478	480
<b>11</b>	140	681,5		679	631	577,5	529,5	493,5	471	459,5	461
<b>12</b>	153	654		667,5	619,5	559,5	507,5	471	447	437	438
<b>13</b>	166,5	621		642,5	605	543,5	486	446,5	422	411	410
<b>T</b>	180	577,5		612,5	584	519	463,5	423,5	398	384	380

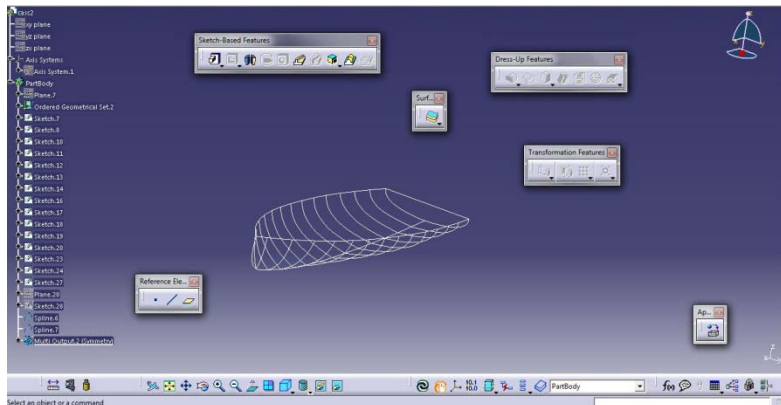
*Il·lustració 48- Taula d'offsets del casc. International Europe Class Rules*

Aquesta taula representa el següent:

La columna de la esquerra son etapes (stages), són seccions transversals del casc separades 250mm una de les altres, van des de la 1, que és la situada més a proa, fins a la T (transom) que representa el mirall de popa. Tots els valors de la taula són distàncies preses respecte una línia base. En cada secció tenim un punt en que el pla es creua amb la línia base i aquest punt és el que prenem com a referència per a les distàncies. A la primera fila trobem les columnes de A i B, aquestes són les distàncies horitzontals i verticals del primer punt respecte aquest punt base, és un punt de la coberta. I a continuació tenim

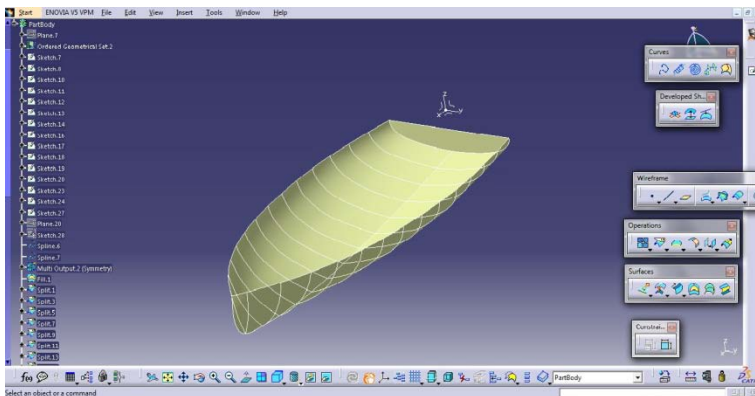
un valor (distància) per a cada  $10^{\circ}$  fins a  $90^{\circ}$  (vertical), que són distàncies respecte el punt base per a cada angle.

Amb la unió d'aquests punts se'ns dibuixen les costelles del casc, és a dir 13 costelles més el mirall de popa. Fent una simetria respecte el pla de cruïxa completem l'esquelet del casc.



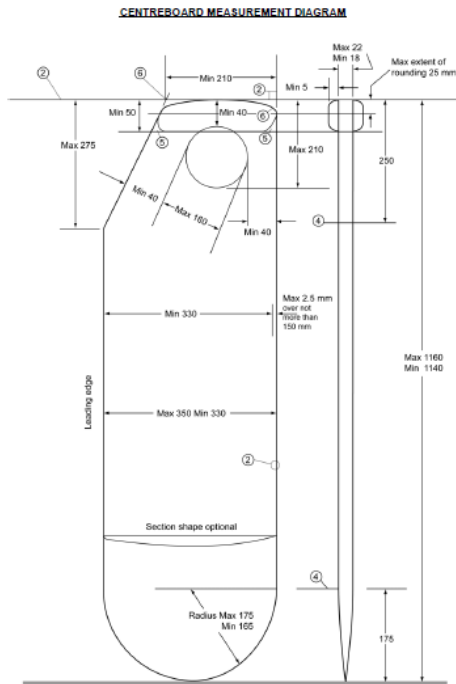
Il·lustració 49- Esquelet del casc

A continuació es crea la superfície compresa entre les costelles per acabar la geometria.

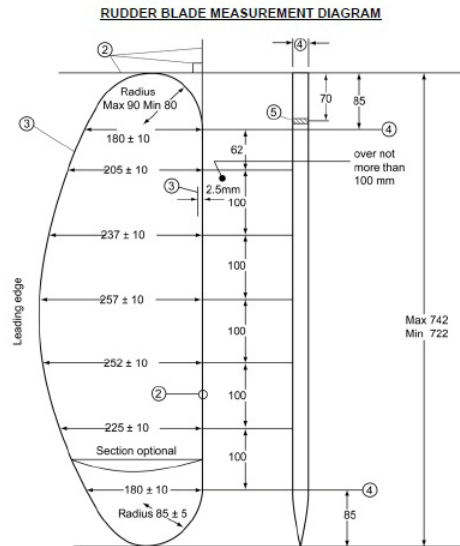


Il·lustració 50- Casc modelat amb superfícies

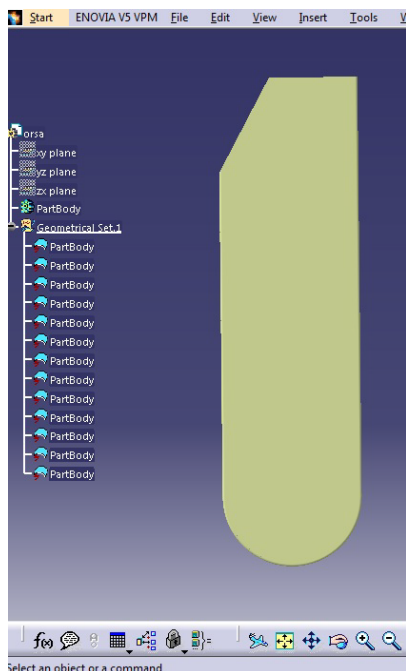
La orsa i el timó també s'han modelat seguint les mesures normalitzades en el reglament, que presenten el següent esquema:



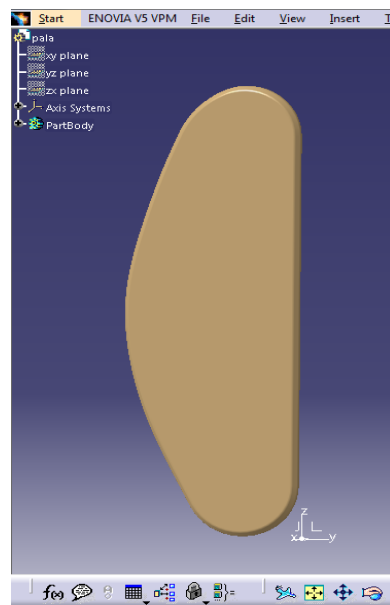
Il·lustració 51- Plànol de la orsa



Il·lustració 52- Plànol de la pala del timó



Il·lustració 53- Orsa modelada



Il·lustració 543- Pala del timó modelada

Per a dur a terme els càlculs, necessitem trobar els punts on es concentren les forces, i aquests són 3:

- El centre vèlic
- El CB (centre de carena)
- El CLR (centre de resistència lateral)

El centre vèlic ja l'hem trobat en l'apartat de l'estudi aerodinàmic, però els altres dos els trobarem amb l'estudi hidrodinàmic. Aquests punts depenen de la línia de flotació, així que, per determinar-los, haurem de trobar abans la línia de flotació

## **9.2. LA LÍNIA DE FLOTACIÓ**

Aquesta línia és el límit que separa la obra viva de la obra morta, o sigui, la part submergida del casc, de la part que no ho està. La seva posició depèn de la càrrega, de la temperatura de l'aigua i la forma del casc.

Existeixen 3 tipus de línia de flotació.

- Design waterline- Ve definida pel dissenyador
- Minimum operated condition- Amb la mínima càrrega
- Loaded operated condition- Amb la màxima càrrega

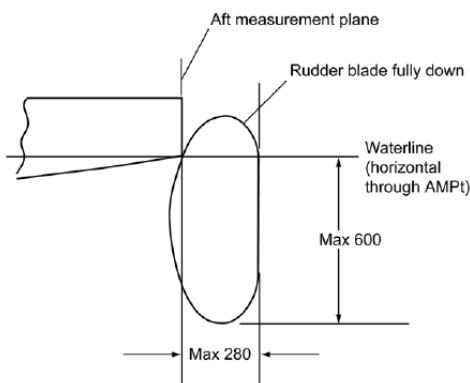
Per a saber la posició de la línia de flotació, he utilitzat dos programes, el Excel i el MAAT Hydro++. Amb el Excel he fet el càlcul de pesos del Europa, que m'ha permès saber els centres de gravetat del vaixell i els seus elements. Els resultats d'aquests càlculs els he introduït al MAAT Hydro++ per trobar el trim & immersion (assentament i immersió) del casc amb les condicions donades. Ens dona uns valors TA i TF (trim Aft i Front) que representen unes distàncies verticals de dos punts de la línia de flotació respecte l'origen.

Cada pes del patró que calculi, s'introdueix als càlculs del Excel per trobar els nous moments d'inèrcia del casc, que posteriorment s'introdueixen al MAAT Hydro++ per treure la posició de la línia de flotació.

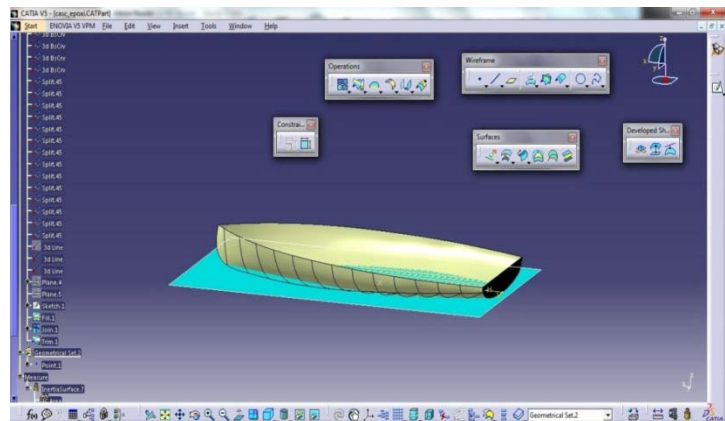
### Design waterline

La línia de flotació, ve detallada en el reglament de medició del casc, segons el dissenyador recau al punt més baix del mirall de popa i perpendicular a aquest.

Rule 3.4.3 - Rudder Fully Down



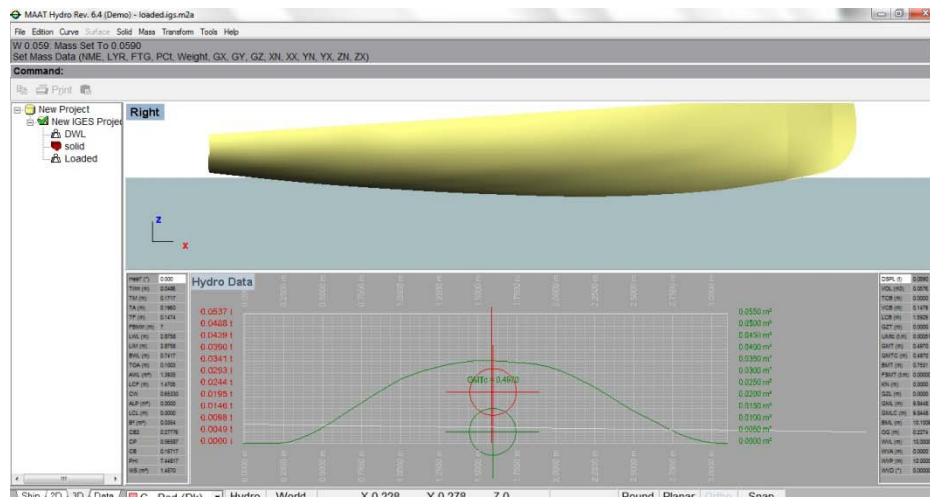
Il·lustració 55- Esquema de la design waterline



Il·lustració 56- Design waterline

### Minimum operated condition

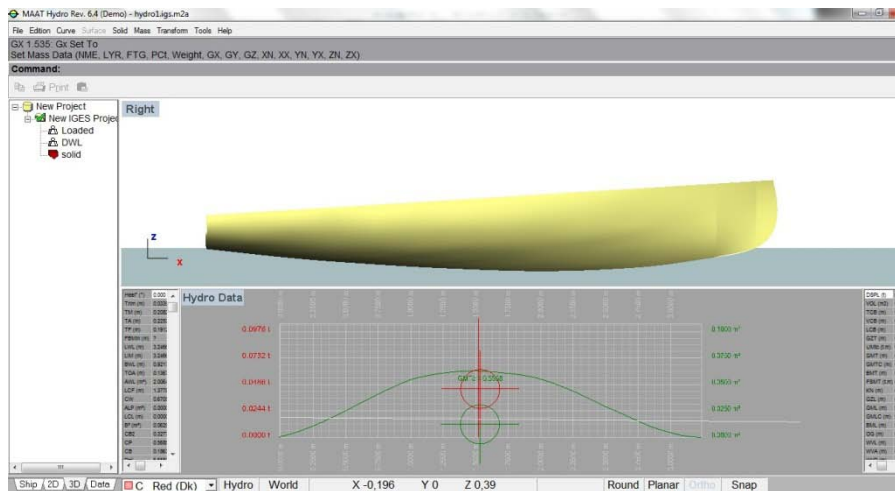
És la línia de flotació amb el vaixell complet, preparat per navegar però sense la càrrega del patró. En el nostre cas el vaixell pesa 54.69Kg



Il·lustració 57- Línia de flotació en condicions de operació mínima

### Loaded operated condition

És la línia de flotació considerant la càrrega total aplicada a la embarcació. En la il·lustració següent, tenim un exemple de la línia de flotació amb un patró de 65Kg.



*Il·lustració 58- Línia de flotació en condició de màxima carrega*

### **9.3. EL CENTRE DE CARENA**

El centre de carena és el centre de gravetat del volum d'aigua desplaçat per un flotador, per a una condició donada. És a dir és el centre de gravetat del volum submergit de la nostra embarcació. Es representa mitjançant una C o CB (center of buoyancy).

Com hem vist anteriorment la força de pes s'equilibra amb la força d'empenta, que queda aplicada en aquest punt, per això també es coneix amb el nom de centre d'empenta.

El centre de carena també és el punt sobre el qual el vaixell escora, és a dir, que el vaixell pivota sobre aquest punt al escorar, per tant el moments els calcularem respecte aquest punt.

Durant la navegació el centre de carena no es manté fix sinó que es va movent ja que el volum submergit no és el mateix sempre, les onades, la velocitat, la escora, etc... provoquen que variï la forma del volum submergit de la embarcació en cada moment i per tant, varia la posició del centre de carena.

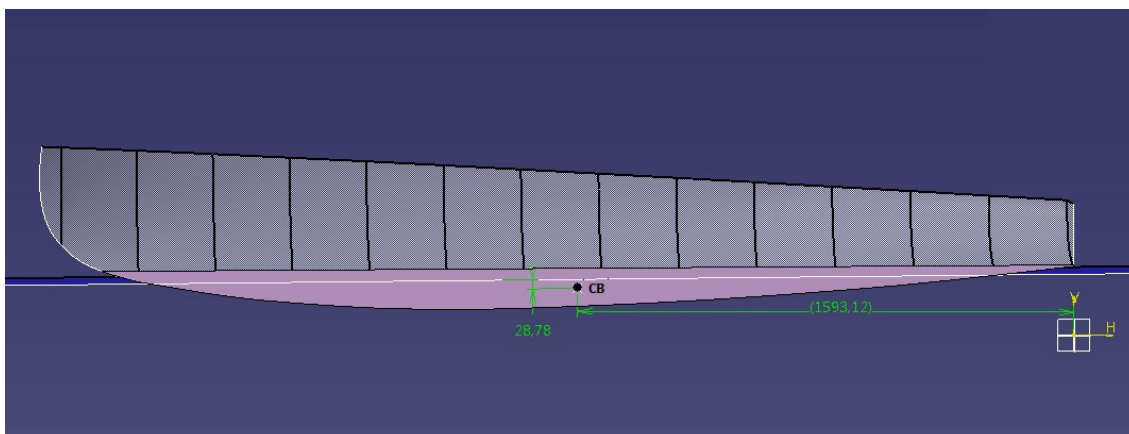


L' estudi s'ha fet en condicions ideals per a la màxima velocitat de la embarcació. Les embarcacions de vela lleugera han de navegar planes per aconseguir el màxim rendiment o velocitat, a diferència de molts creuers que es dissenyen per què naveguin amb un determinat grau d'escora per obtenir-ne el màxim rendiment.

Així un cop tenim el volum submergit podem situar el centre de carena trobant el centre de gravetat d'aquest volum.

Buscarem el centre de carena amb la condició de mínimum operation condition, a partir del qual farem els càlculs per a determinar el pes del patró.

Com que ja hem trobat la línia de flotació, ja podem determinar el centre de gravetat del volum del casc submergit.

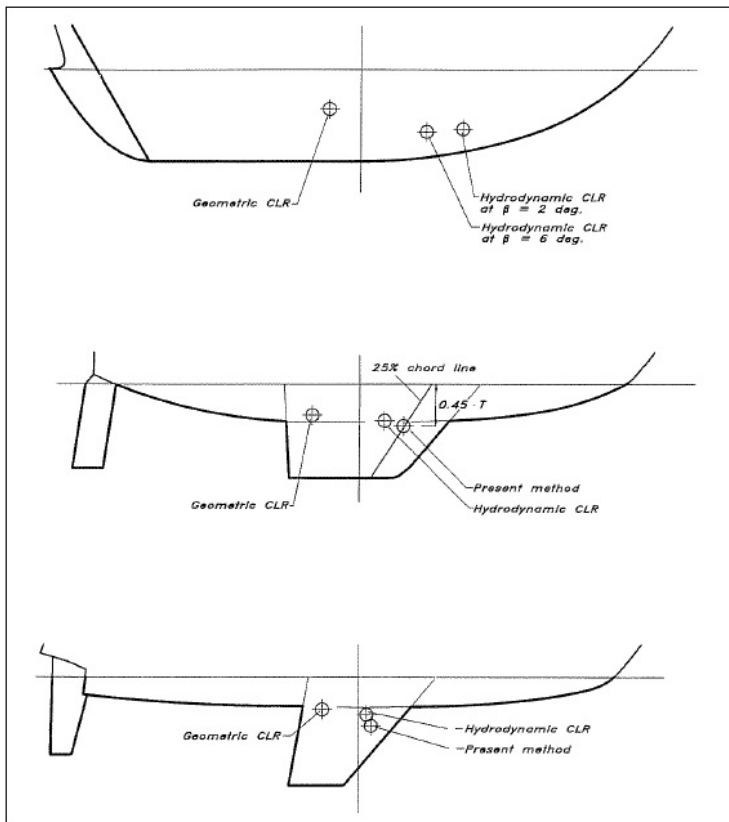


*Il·lustració 59- Posició del CB en la condició de operació mínima*

#### **9.4. EL CENTRE DE RESISTÈNCIA LATERAL**

Igual que el centre vàlic per la vela, el CLR és el punt del vaixell on es pot considerar que s'apliquen les forces hidrodinàmiques generades a la obra viva.

El Professor K Nomoto de la Universitat d'Osaka juntament amb altres col·laboradors van dur a terme un experiment per determinar els centres d'esforços hidrodinàmics de diferents tipus de vaixells.



Il·lustració 60- Posicions del CLR en diferents tipus de vaixells

El primer és un vaixell de quilla correguda, el segon un creuer amb una quilla d'aleta, i el tercer un vaixell de regates de la classe IOR. Es pot observar que el CLR hidrodinàmic està un pel desplaçat del centre geomètric degut a que la obra viva del vaixell és una ala amb una forma molt peculiar, per això no prenc el centre geomètric com a CLR per als càlculs.

Hi havia varies maneres de trobar una aproximació de la posició del CLR proposades. El professor J. Gerritsma va suggerir un mètode per als vaixells de quilla tipus aleta on només es tenia en compte la pala del timó i la quilla. S'aplicava la teoria de l'ala per trobar la força lateral però el CLR quedava molt a popa.

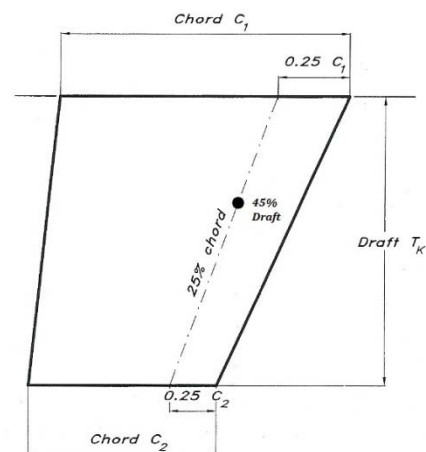
Es va trobar una estimació millor que la anterior si es multiplicava la força del timó per un factor de 0,4. Això es justificava físicament perquè la quilla causava un canvi en l'angle d'incidència cap al timó, que disminueix la força de sustentació en un 40%. Però inclús amb aquesta modificació, el mètode Gerritsma tendia a predir el CLR massa a popa. Això era degut a que la casc tot i que no influïa gaire en la força, sí que influïa en la posició ja que el centre de pressions del casc resultava estar molt a proa.

Finalment el professor Nomoto i els seus ajudants varen proposar un mètode en que basant-se en una teoria de cossos esvelts, i on es calculava la força del casc. Cap dels dos mètodes anteriors era complicat, però existia el desavantatge de que tenien molt poques dades empíriques per vincular el CLR calculat amb el centre vèlic.

Una simplificació d'aquest mètode tenint en compte les dades empíriques disponibles era:

Resulta que en la majoria de vaixells amb aquest tipus de quilla, l'efecte de la pala del timó i del casc es contrarestaven raonablement entre elles, així com a primera aproximació per trobar el CLR les podem considerar negligibles.

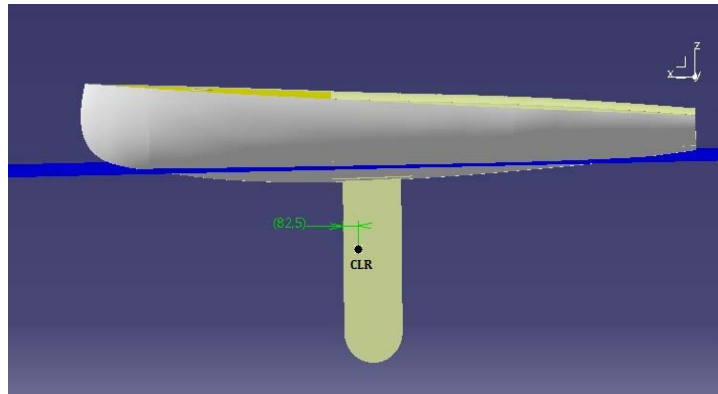
Així, en conseqüència, utilitzem només la quilla (estesa fins a la línia de flotació) per calcular el CLR, assumint que es troba al 25% de la corda de la quilla i al 45% del calat. Això es pot fer sempre que considerem una quilla (orsa en el nostre cas) amb una gran relació d'aspecte (relació altura-amplada).



Il·lustració 61- Posició del CLR en una orsa d'aleta

Degut a que la posició d'aquest centre depèn directament de la línia de flotació, i aquesta depèn del pes del patró, haurem de tenir en compte que variarà de posició per a cada condició de càrrega.

En el nostre cas sabem que aquest punt ens quedarà a 88,2 mm del cantó d'atac de la orsa, i la posició vertical ens dependrà en cada moment de la línia de flotació.



*Il·lustració 62- Posició del CLR*

Un cop trobats els punts necessaris per a cada condició, podrem calcular els moments sobre el centre de carena, amb les distàncies.

## **10. ESTUDI DE LA INFLUÈNCIA DEL PES DEL TRIPULANT EN EL CONJUNT DE FORCES**

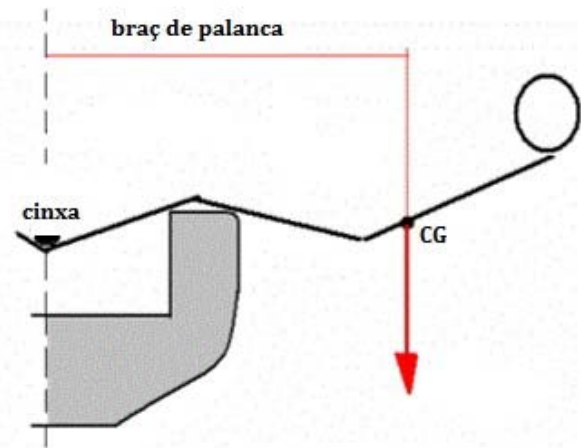
En una embarcació d'aquest tipus, podem parlar que existeixen dos moments de força que condicionen la estabilitat de la embarcació. Per una banda tenim el parell escorant, efecte de la força del vent sobre el centre vàlic, i la seva reacció en el CLR; i per altra banda tenim el parell redreçant, que serà funció de la massa del patró concentrada en el seu centre de gravetat (CG) i de la distància a la que es projecti de la perpendicular al pla del centre de carena, i de sentit oposat al parell escorant.

Per a mantenir l'equilibri en el sistema s'hauran d'igualar aquests dos moments de força, ja que així el vaixell navegarà pla que és com se li treu el màxim rendiment.

El parell redreçant només es pot modificar augmentant o disminuint el braç de palanca, ja que el pes del patró es pot considerar una constant mentre es navega. El par escorant es modificarà per la acció de la força desenvolupada per la vela, en la que hi podem influir mitjançant el trimat.

Es pot considerar, des de un punt de vista mecànic, que durant la navegació i amb l'objectiu d'evitar la escora que provoca la força del vent, existeixen dos sistemes principals de palanques establerts: entre la embarcació i el regatista, i el conjunt de palanques òssies del regatista considerat aïlladament.

El regatista intenta sempre fer el màxim contrapès, per això adopta una posició que consisteix en treure el cos el més enfora possible de la borda i aguantant-se amb els peus sota les cinxes, que son unes tires fixades amb cargols al terra de l'embarcació, i estirant l'esquena el màxim paral·lel a l'aigua, per allunyar el centre de gravetat del cos i així fer més llarg aquest braç de palanca.



*Il·lustració 63- Esquema de la posició del patró quan es penja*

### **10.1. PARELL ADREÇANT**

El parell adreçant es refereix a la força que aplica el regatista per modificar el moment de força i aconseguir el màxim rendiment de l'embarcació a l'impedir l'escora.

L'únic paràmetre que el regatista pot modificar durant la navegació és el braç de palanca i serà en aquest en què ens centrem.

L'esportista realitza una sèrie de moviments compensadors per mantenir en tot moment embarcació plana. Amb aquest propòsit, la força muscular i la disposició correcta de les palanques corporals seran uns dels elements imprescindibles per contrarestar l'escora de l'embarcació, ja que una eina essencial del regatista és la interposició del pes del seu cos, com a agent que exerceix la funció de contrapès en els moviments d'escora esmentats.

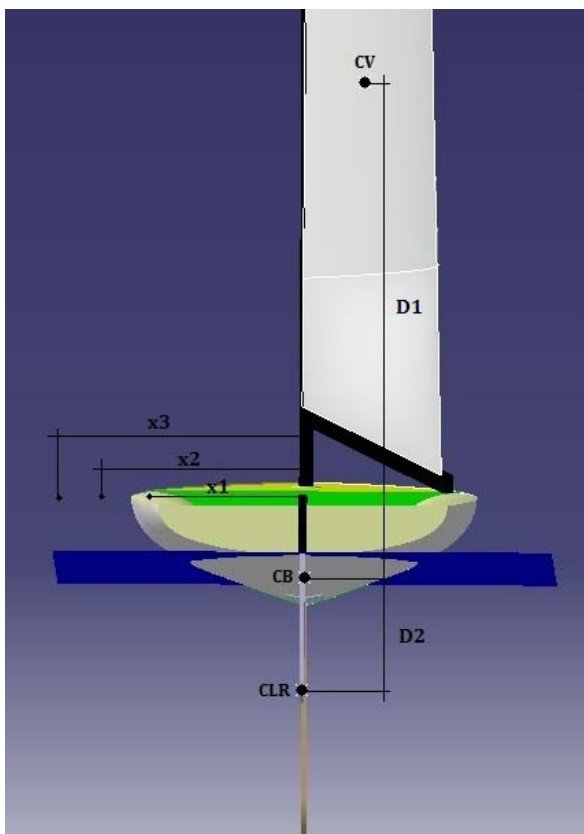
L'esportista pot adoptar diferents postures, com seran la planxa, el quatre (es diu així per la forma que adopta el cos en aquesta posició amb les cames i el tronc), o el trapezi, depenent de les característiques de l'embarcació, de la força muscular i de les necessitats que genera l'entorn. En el cas de la nostra embarcació (que no disposa de trapezis) la forma ideal de penjar-se és

en planxa ja que és la forma en que es fa més llarg el braç de palanca i ens permet tenir el cul aixecat sense que vagi tocant l'aigua i evitant més fregament, l'inconvenient és que és la posició més cansada muscularment i s'ha d'estar molt en forma per aguantar en aquesta posició molta estona.



*Il·lustració 64-Representació de la força escorant i adreçant d'una embarcació de la classe europa navegant en cenyida*

Com s'ha comentat abans, per aconseguir mantenir el vaixell pla, i per tant treure'n el seu màxim rendiment, és necessari que s'equilibrin aquests parells de forces.



Per al càlcul dels moments agafarem aquests punts on s'aplica cada força i les respectives distàncies respecte el CB.

*Il·lustració 65- posició del CV, CB i CLR i els punts on s'apliquen les forces adreçants*

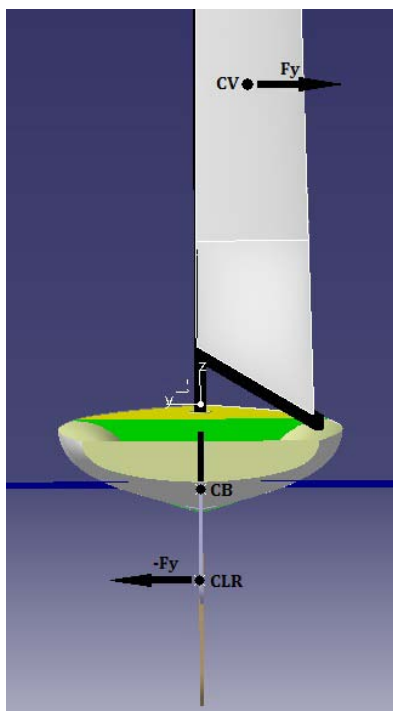
Els moments redreçant són el producte de la força del pes del patró, per la seva distància al CB. El punt on s'aplica la força del pes del patró és el seu centre de gravetat, que considerarem que està situat al melic del regatista.

Aquí les distàncies sí que varien segons el vent, ja que no es navega en la mateixa posició amb un vent de 6 nusos que amb un vent de 20. Per tant per les distàncies agafarem 3 valors diferents segons si el patró va penjat o no i quan va penjat, amb 2 altures diferents pel patró.

Quan el patró no va penjat suposarem que va assegut tranquil·lament sobre el flotador, i quan sí que va penjat he pres 2 mesures; una per una persona de 1'85 i una altra de 1'60, i les mides són les següents:

Patró no penjat	$x_1 = 600\text{mm}$
Patró penjat de 1,60m	$x_2 = 880\text{mm}$
Patró penjat de 1.85m	$x_3 = 1150\text{mm}$

Els moments escorants són el producte de la  $F_y$  per la distància CV-CB més la reacció a la orsa de  $F_y$  per la distància al CLR-CB.



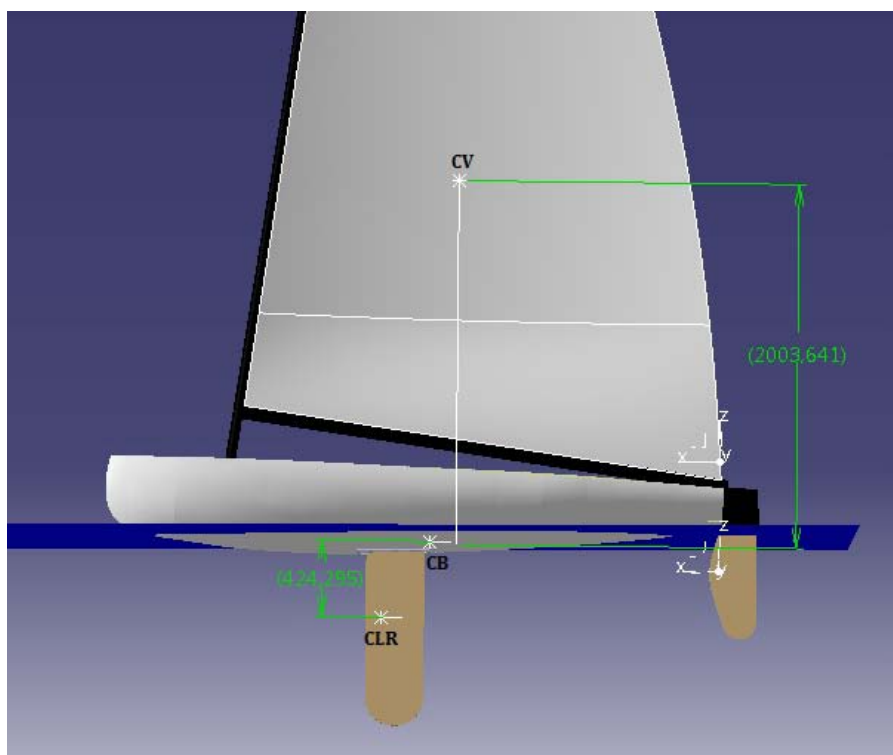
Il·lustració 66- Forces aplicades al CV i al CLR

## 10.2. ELS CÀLCULS

Per a realitzar els càlculs, he partit de la línia de flotació de mínimum operation condition, per a treure'n la resta de punts. He utilitzat aquesta perquè té en compte el pes total del vaixell, però sense el patró, que és el que busquem.

Un cop hem trobat el pes adequat per cada intensitat de vent, hem de tornar a re-calcular els punts de CB i CLR, ja que al haver afegit una nova càrrega, el vaixell navega més enfonsat, per tant haurà variat la línia de flotació i amb això la posició del CB i el CLR, i per tant les distàncies dels moments també seran diferents. Amb la nova situació dels punts, podem tornar a calcular els moments, però ara el que buscarem serà la nova posició del patró.

Les distàncies inicials dels moments amb la línia de flotació de mínimum operation condition són:



*Il·lustració 67- Distàncies CV-CB i CLR-CB en minimum operated condition*



### **10.2.1. Vent de 6kn**

Aquesta intensitat de vent és molt fluixa (3.08 m/s), els patrons amb aquest vent no van penjats, com hem comentat abans, ens cenyirem a la realitat a la hora de fer els càlculs, per tant agafarem la distància  $x_1$  com a distància del braç de palanca del moment redreçant. La  $F_y$  desenvolupada per aquest perfil amb aquesta intensitat de vent és  $F_y = 63.04$ .

El sumatori de moments en el CB ha de ser 0 perquè el vaixell navegui estable.

$$\Sigma m = 0 \text{ N/m}$$

$$(F_y \cdot D_1 + F_y \cdot D_2) - (p \cdot x_1) = 0$$

$$p = m \cdot g$$

$$F_y \cdot (D_1 + D_2) = p \cdot x_1$$

$$255.1 = m \cdot 9.8$$

$$63.04 \cdot (2003.641 + 424.295) = p \cdot 600$$

$$\underline{m = 26.03 \text{ Kg}}$$

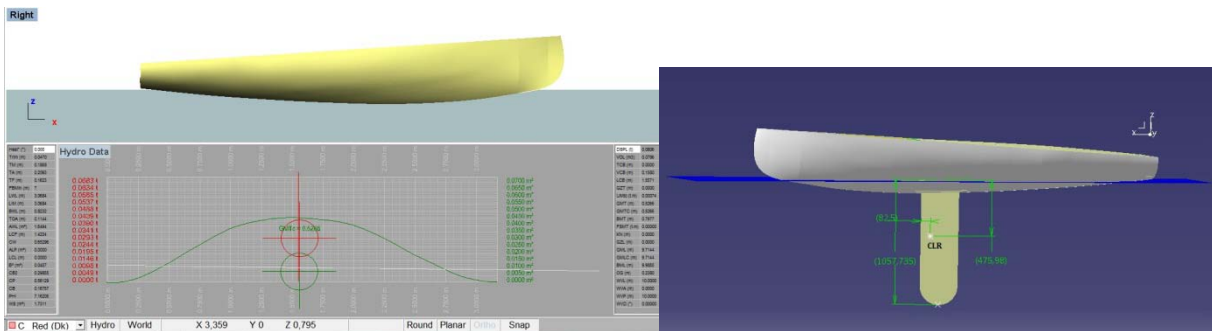
$$p = 255.1 \text{ N}$$

El pes del patró per aquesta intensitat de vent i aquestes condicions és de 255.1N, és a dir la massa de la persona seria de 26.03Kg.

Com veiem és una persona molt lleugera, realment no hi ha ningú de menys de 30Kg que navegui amb aquesta classe, normalment la gent que pesa tant poc encara navega amb Optimist perquè també solen ser gent menor de 15 anys. I com hem dit abans una patró amb aquest pes no té res a fer quan bufin 10 nusos perquè no podrà mantenir el vaixell pla.

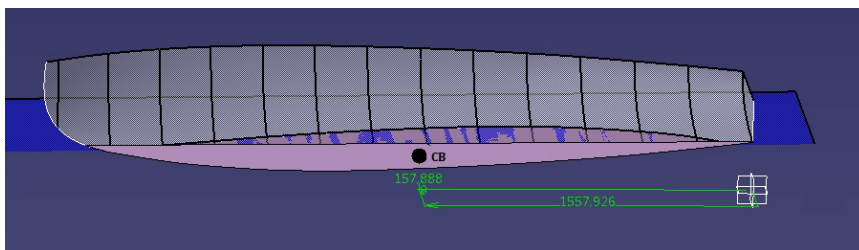
Com que ara li hem afegit una càrrega al vaixell, la posició dels punts ha variat, per tant tornem a calcular-ho amb les noves distàncies i amb aquest pes per trobar la posició exacta on hauria d'anar el patró.

La nova posició dels punts és:

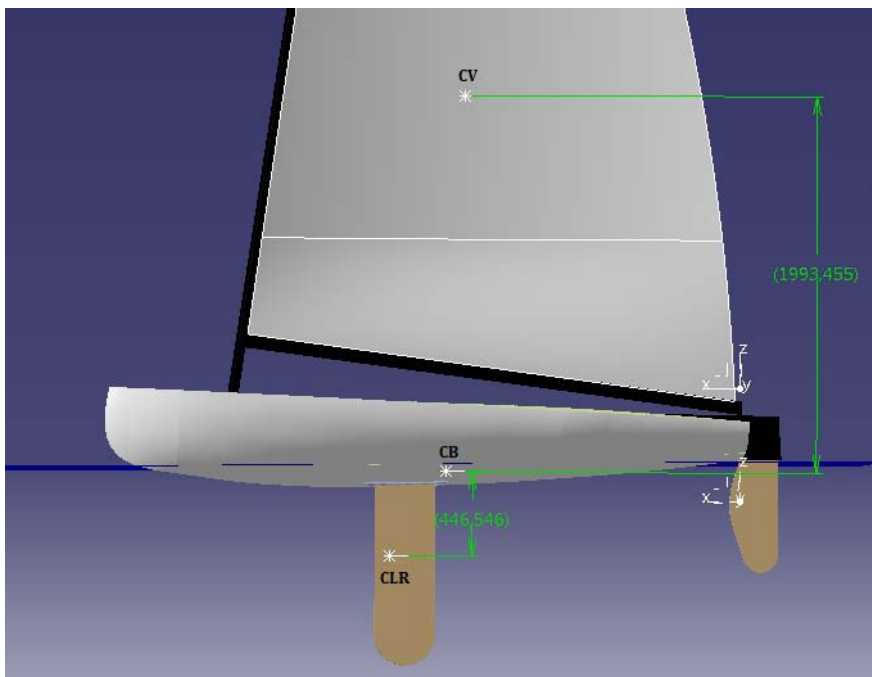


Il·lustració 68- línia de flotació amb una càrrega de 26Kg

Il·lustració 69- Detall del CLR amb una càrrega de 26Kg



Il·lustració 70- Detall del CB amb una càrrega de 26Kg



Il·lustració 71- Detall de les distàncies entre els punts amb 26Kg de càrrega

Realitzant els nous càlculs, ens surt que la posició del patró per mantenir l'equilibri de l'embarcació és a 602,98mm del pla de cruixia. És a dir quasi 3mm més allunyat dels càlculs inicials.

Si agaféssim una distància com la x2 o x3 ens surten uns valors de la massa del patró de l'ordre de 17.7 i 13.5kg. Com es pot comprovar no són valors que s'adeqüin gaire a la realitat d'aquest embarcació, per això no prenc aquestes distàncies per a realitzar els càlculs.

### **10.2.2. Vent de 11kn**

La força que desenvolupa el perfil és  $F_y = 211.686N$ , amb aquest vent els patrons ja comencen a anar penjats, així que treballarem amb les distàncies x2 i x3 referents a les diferents altures dels patrons.

Càlcul amb un patró de 1.60m d'altura

**x2=880mm**

$\Sigma m = 0 \text{ N/m}$

$$(F_y \cdot D_1 + F_y \cdot D_2) - (p \cdot x_2) = 0$$

$$p = m \cdot g$$

$$F_y \cdot (D_1 + D_2) = p \cdot x_2$$

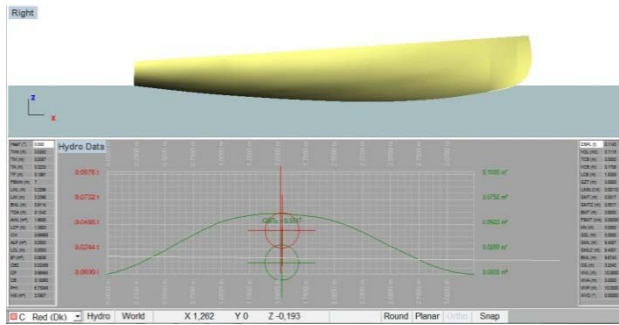
$$584.05 = m \cdot 9.8$$

$$211.686 \cdot (2003.641 + 424.295) = p \cdot 880$$

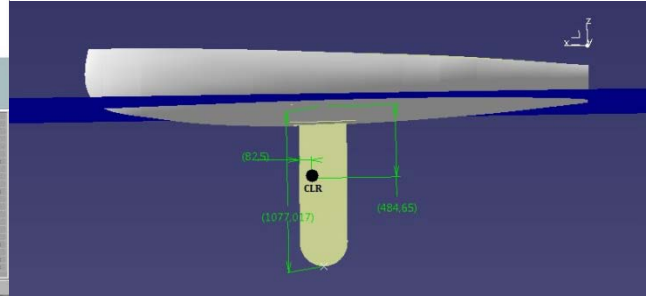
$$\underline{m = 59.6 \text{ Kg}}$$

$$p = 584.05 \text{ N}$$

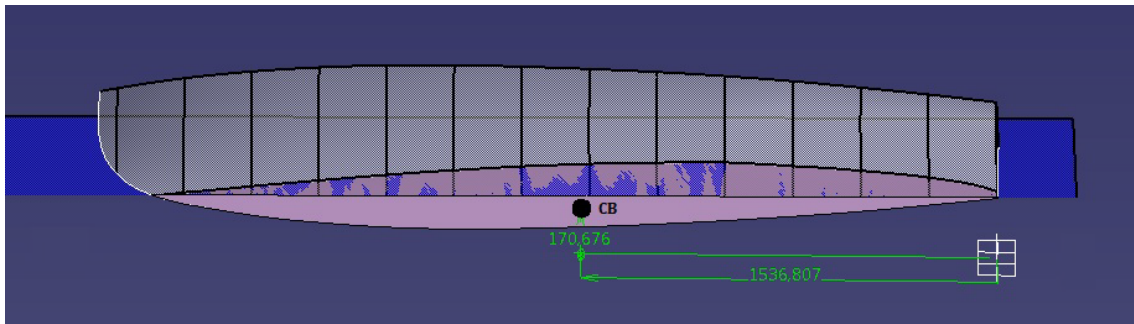
Després d'aplicar la nova càrrega i ressituar els punts ens queda de la següent forma:



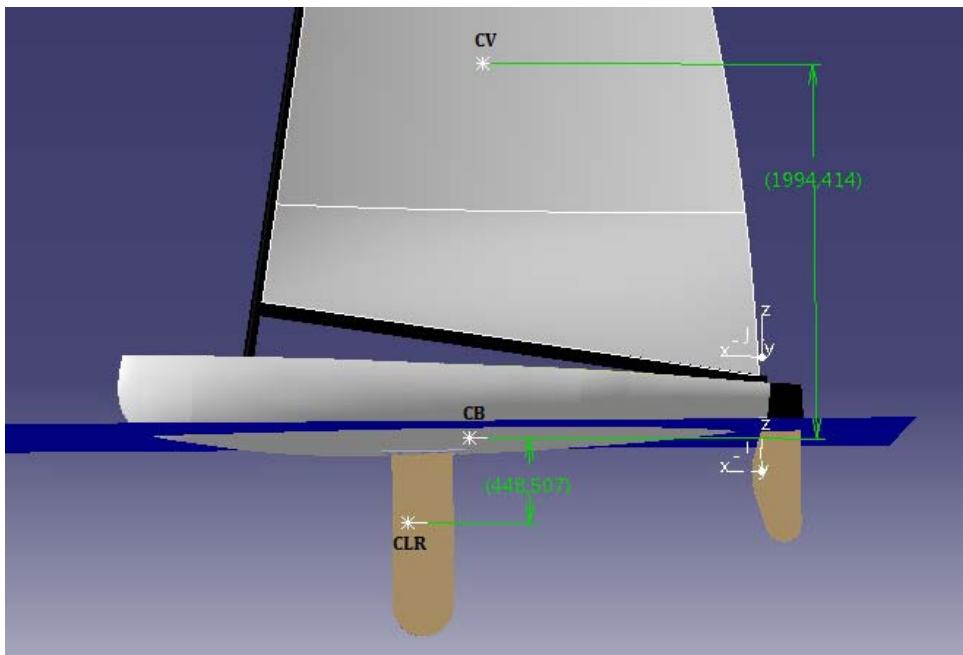
Il·lustració 72- línia de flotació amb càrrega de 59.6Kg



Il·lustració 73- Detall de la posició del CLR amb 59.6Kg de càrrega



Il·lustració 74- Posició del CB amb 59.6Kg de càrrega



Il·lustració 75- Posició dels punts amb 59.6Kg de càrrega

Amb la nova situació dels punts trobem que la distància adequada del patró amb aquestes condicions és a 885.43mm del pla de cruïxa del vaixell per mantenir l'equilibri entre les forces.

Càlculs amb un patró de 1.85m d'altura

$$x_3 = 1150 \text{ mm}$$

$$\Sigma m = 0 \text{ N/m}$$

$$(F_y \cdot D_1 + F_y \cdot D_2) - (p \cdot x_3) = 0$$

$$p = m \cdot g$$

$$F_y \cdot (D_1 + D_2) = p \cdot x_3$$

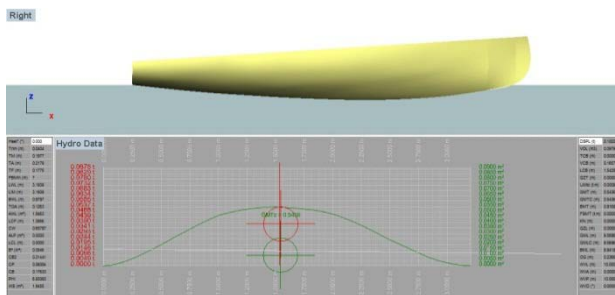
$$446.92 = m \cdot 9.8$$

$$211.686 \cdot (2003.641 + 424.295) = p \cdot 1150$$

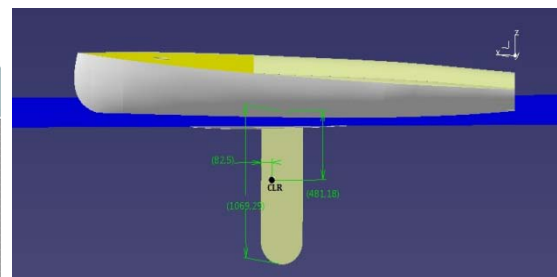
$$m = 45.6 \text{ Kg}$$

$$p = 446.92 \text{ N}$$

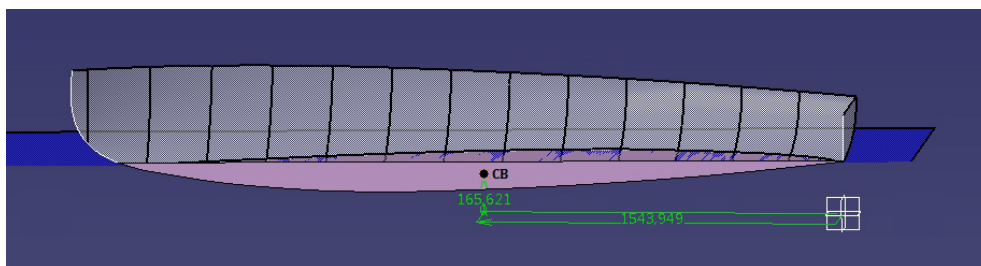
Els punts ens queden en la següent posició després de aplicar la càrrega trobada de 45.6Kg



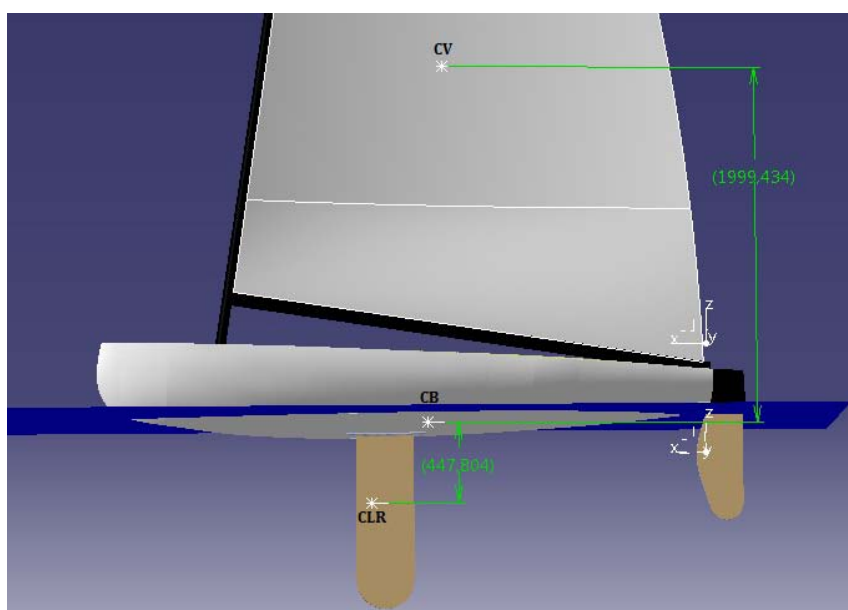
Il·lustració 76- Línia de flotació amb una càrrega de 45.6 Kg



Il·lustració 77- Detall de la posició del CLR amb 45.6Kg de càrrega



Il·lustració 78- Posició del CB amb una càrrega de 45.6 Kg



Il·lustració 79- Detall de la posició dels punts amb 45.6Kg de càrrega

Re-calculant els moments amb les noves distàncies ens surt que el patró s'ha de penjar a una distància de 1159.14mm respecte el pla de cruïxa del vaixell.

### **10.2.3. Vent de 16.67kn**

Com abans, els patrons també van penjats amb aquesta intensitat de vent. La força desenvolupada per el nostre perfil és de  $F_y = 486.761$ , com es pot comprovar és més del doble que en el cas anterior. També ho calcularem amb les dues mides dels patrons.

Patró de 1.60m d'altura

**x2=880mm**

$\Sigma m=0$  N/m

$(F_y \cdot D1 + F_y \cdot D2) - (p \cdot x2) = 0$

$p = m \cdot g$

$F_y \cdot (D1 + D2) = p \cdot x2$

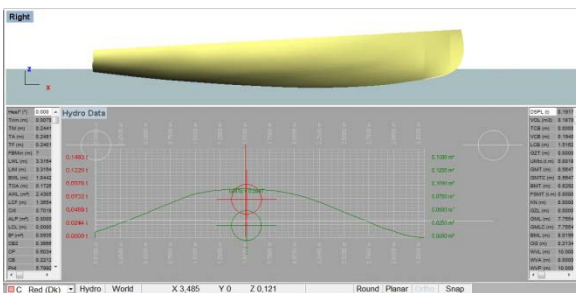
$1342.98 = m \cdot 9.8$

$486.761 \cdot (2003.641 + 424.295) = p \cdot 880$

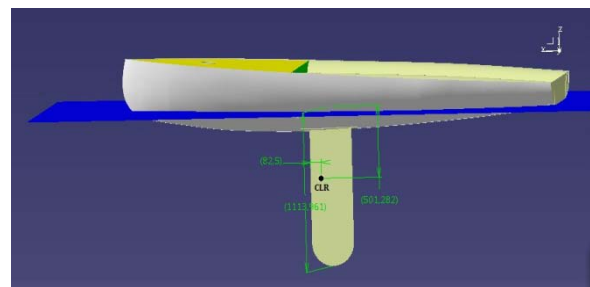
$m = 137.04 \text{Kg}$

$p = 1342.98 \text{N}$

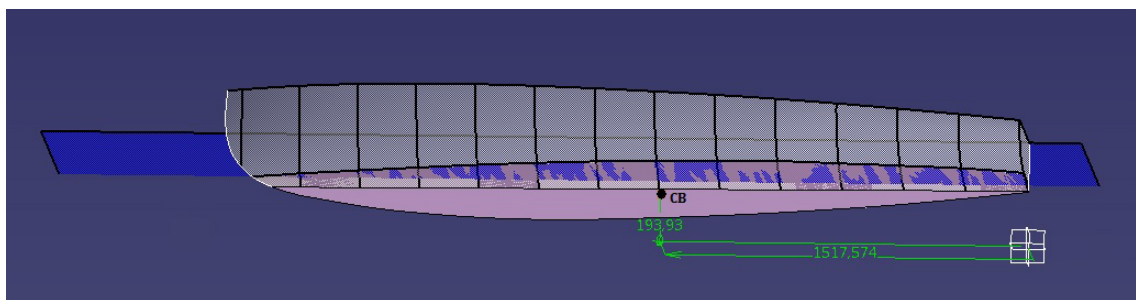
Tornant a calcular els punts amb la nova càrrega de 137.04Kg ens queden de la següent forma:



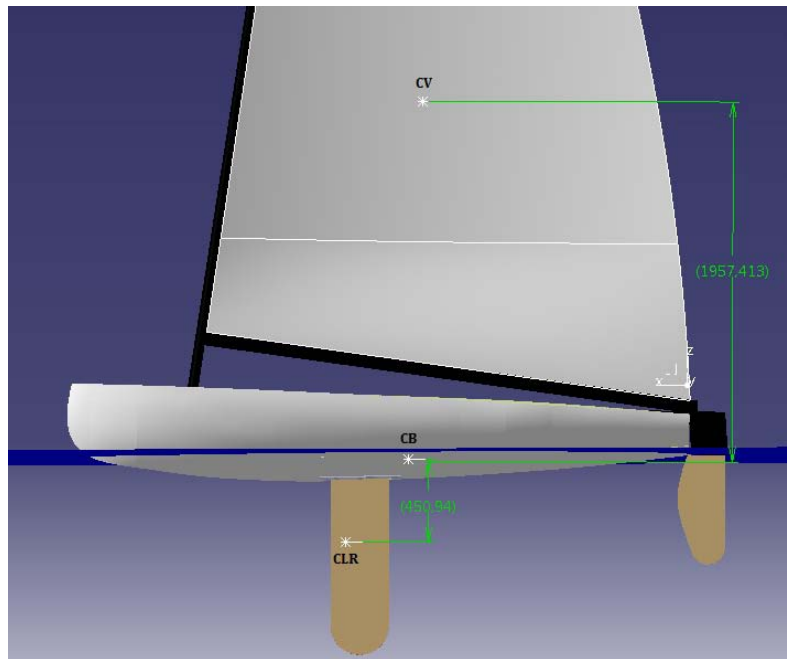
Il·lustració 80- Posició de la línia de flotació amb una càrrega de 137.04Kg



Il·lustració 81- Posició del CLR amb una càrrega de 137.04Kg



Il·lustració 82- Posició del CB amb una càrrega de 137.04Kg



Il·lustració 83- Posició dels punts amb una càrrega de 137.04Kg

Si tornem a fer els càlculs amb les dades noves, trobem que la posició on hauria d'estar aplicat el pes del patró és a 872.9mm del pla de cruixia del vaixell.

Càlculs amb un patró de 1.85m d'altura

$$x3=1150\text{mm}$$

$$\Sigma m=0 \text{ N/m}$$

$$(F_y \cdot D1 + F_y \cdot D2) - (p \cdot x3) = 0$$

$$p = m \cdot g$$

$$F_y \cdot (D1 + D2) = p \cdot x3$$

$$1027.67 = m \cdot 9.8$$

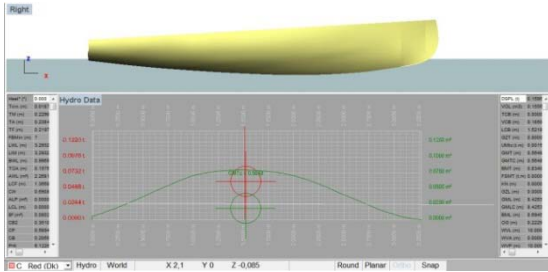
$$486.761 \cdot (2003.641 + 424.295) = p \cdot 1150$$

$$m = 104.86 \text{ Kg}$$

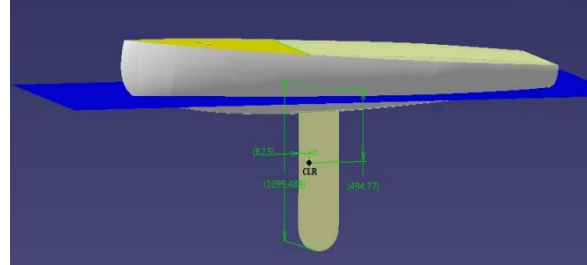
$$p = 1027.67 \text{ N}$$



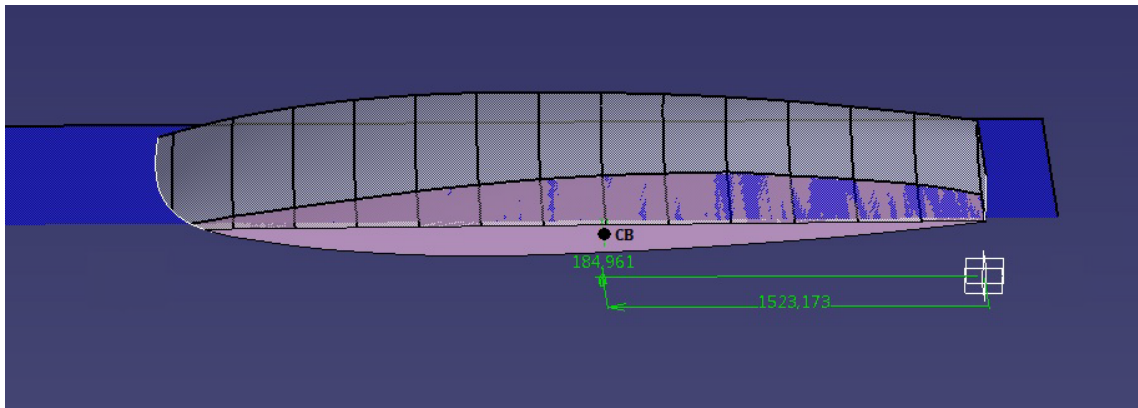
El pes que necessitem per contrarestar el moment escorant produït per aquesta intensitat de vent amb la distància x3, és de 104.86Kg. Amb aquest pes tornem a buscar la nova situació dels punts:



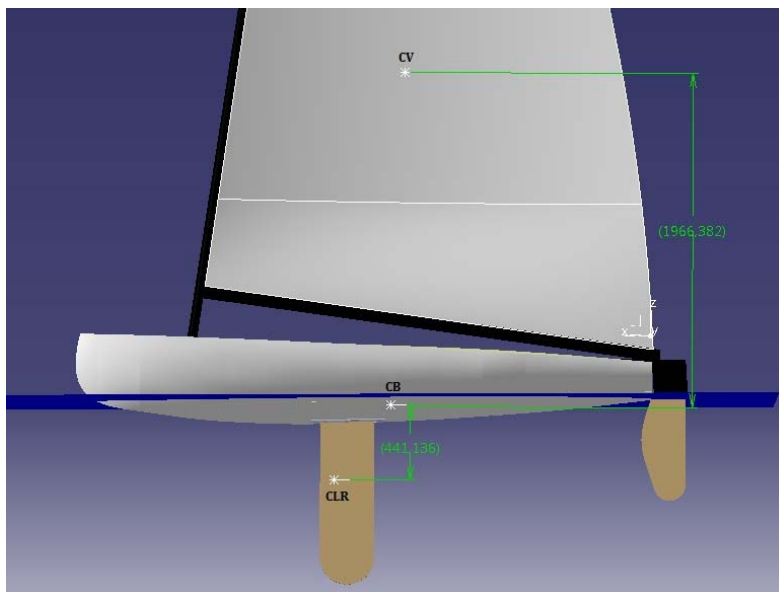
Il·lustració 84- línia de flotació amb una càrrega de 104.86Kg



Il·lustració 85- Posició del CLR amb una càrrega de 104.86Kg



Il·lustració 86- Posició del CB amb una càrrega de 104.86Kg



Il·lustració 87- Detall de la posició dels punts amb una càrrega de 104.86Kg

Al tornar a calcular els moments amb les noves distàncies i el pes trobat anteriorment, ens dona un resultat de 1140.33mm respecte el pla de cruïxa del vaixell.

Un cop tenim els resultats dels pesos necessaris per a cada condició, es realitza la mitjana i tindrem el pes adequat per aquest perfil. Com abans, tindrem en compte les dues mides del patró que hem utilitzat per als càlculs.

Patró de 1,60m

Sumem els 3 pesos

$(26.03+59.6+137.04)/3= 74.22\text{Kg}$       **Pes ideal del patró (1,60m)= 74.22Kg**

Patró de 1,85m

Sumem els 3 pesos

$(26.03+45.6+104.86)/3= 58.83\text{Kg}$       **Pes ideal del patró (1,85m)= 58.83Kg**

Quadre de resultats:

Resultats			
vent	6kn	11kn	16,67kn
		patró 1,60m	patró 1,60m
p=	255,10 N	p= 584,05 N	p= 1342,98 N
m=	26,03 Kg	m= 59,60 Kg	m= 137,04 Kg
		patró 1,85m	patró 1,85m
p=		446,92 N	1027,67 N
m=		45,60 Kg	104,86 Kg
Zon càlcul			
		patró 1,60m	patró 1,60m
x=	602,98 mm	x= 885,43 mm	x= 872,90 mm
		patró 1,85m	patró 1,85m
x=		1159,14 mm	1140,33 mm
Pes mitjà			
		patró 1,60m	patró 1,85m
pm=		727,37 N	576,56 N
m=		74,22 Kg	58,83 Kg

Il·lustració 885- Resultats obtinguts

## **11. CONCLUSIONS**

Un cop obtinguts els resultats, si els comparem amb les dades estadístiques de la classe, de les característiques físiques dels navegants, podem veure que encaixen dins dels valors establerts.

Els primers valors del pes obtinguts amb la intensitat de 6 nusos de vent són molt petits, però com he comentat amb tant poc vent no és estrany. Jo he considerat la distància de 600mm perquè és la posició més còmode anar assegut a la banda i sense penjar-se, perquè amb tant poc vent no és necessari, per això he considerat aquesta distància com la correcta. Però la realitat és que els regatistes es col·loquen encara més dins de la embarcació degut a que pesen més de 26 Kg.

També el pes per a un patró de 1,85m surt una mica més baix de lo estipulat (45,6 Kg en comptes de 62 Kg). Aquesta diferència la atribueixo a que en els càlculs amb la intensitat de 11 nusos, potser el patró no hauria d'anar tant penjat com he suposat prèviament, d'aquesta manera el braç de palanca del moment adreçant no seria tant llarg (1150mm) i el resultat del pes del patró en aquesta condició seria més gran, el que faria pujar la mitjana total del pes del patró de 1,85m.

Una altra resultat que no esperava tant excessiu, és el pes del patró amb una intensitat de vent de 16.67 nusos. Anteriorment he comentat que a partir dels 15 o 16 nusos de vent ja costava molt aguantar el vaixell pla. El que s'hauria de fer en aquest cas és aixecar la orsa. D'aquesta manera la distància entre el CLR i el CB es reduiria i per tant el moment escorant seria menor i es necessitaria menys pes per poder-lo contrarestar.

Un altre aspecte que m'ha sorprès, és la alineació dels 3 punts que he considerat per a realitzar els càlculs (CV, CB, CLR). Com podem observar a les il·lustracions del apartat 10.2, el centre vèlic i el centre de carena si que estan bastant alineats verticalment en tot moment, no obstant, el centre de resistència lateral sempre queda més a proa que els dos anteriors.

Aquesta situació dels punts dóna peu a que també es generi un moment en el pla XY de manera que el vaixell serà molt ardent (que tindrà tendència a orsar, que la proa es dirigeixi cap al vent). Això pot ser bo o dolent depenent de les condicions:

Quan fa poc vent interessa que el vaixell sigui una mica ardent, perquè ens permetrà cenyir amb més comoditat, sempre i quan no haguem de rectificar el rumb en excés amb el timó, la qual cosa provocaria molta resistència amb l'aigua i frenaria l'avanç del vaixell.

Aquest moment que es crea per la desalineació dels punts, és proporcional a la intensitat del vent, de manera que arribats a una certa intensitat de vent, aquest moment serà massa gran i serà impossible que no haguem de rectificar amb el timó, el que provocaria que el vaixell es frenés molt.

Per a resoldre aquest problema tenim dues opcions. La primera seria moure la caiguda del pal cap a proa, amb això desplaçaríem el centre vàlic cap a proa i quedarien més alineats els punts. L'inconvenient és que també modificaríem la forma de la vela i això també podria influir negativament en el rendiment del vaixell i ens perjudicaria.

La segona opció és inclinar la orsa cap a popa, d'aquesta manera el CLR es desplaçaria més a popa i quedaria més alineat amb el CV. Aquesta opció la considero la millor, ja que no modifiquem la forma de la vela i a més al inclinar la orsa també li restem superfície sota l'aigua per tant també serà més fàcil contrarestar el moment escorant.

### **Bibliografia:**

- BESEDNJACK, Alejandro. *Construcción de embarcaciones de recreo*. Apunts UPC 2007/2008.
- CHÉRET, Bertrand. *Las velas: comprensión, trimado y optimización*. Ediciones Juventud, Barcelona 2004.
- CURSO NORTH SAILS. *Trimaje de Vela*. North Sails.
- GARCIA, Júlio. *Mecànica de fluids*. Apunts UPC 2009/2010.
- GLADSTONE, Bill. *North U. TRIM*. Sixth edition. North U. MADISON CT, 2003.
- HOWARD-WILLIAMS, Jeremy. *Sails*. Sixth edition. Adlard Coles.
- *Hull measurement diagram 2010 International Class rules*.
- LARSON, Lars. ELIASSON, Rolf E. *Principles of yacht design*
- MARCHAJ, C.A. *Aero-Hydrodynamics of Sailing*. Tiller Pub, 2000.
- MARCHAJ, C.A. *Sail performance. Techniques to maximise sail power*. Adlar Coles, 2003.
- ORTIGOSA, Inma. *Termotècnia*. Apunts UPC 2009/2010.
- SCHUL, Joachim. *Teoría y práctica de las velas: diseños nuevos, materiales nuevos, trimado y optimización*. Segunda Edición. Ediciones Tutor, Madrid 2008.
- TROWER, Gordon. *Sails & rigging*. Crowood Press, Ramsbury 1996. 1988.
- WHIDDEN, Tom. LEVITT, Michael. *The art science of sails*. St. Martin's Press. New York, 1990.

### **Projectes:**

- CASARES, Alejandro. *Diseño comportamiento y metodología para el trimado de velas*. PFC UPC 2003
- DEL CASTILLO, Sergi. *Las velas*. PFC UPC 2007.
- HIDALGO, Neide. *Las velas. Estudio de materiales y nuevas metodologías para hacer un velero sostenible*. PFC UPC 2009.

**Webs:**

- [www.amarre.com](http://www.amarre.com)
- [www.depoorter.com](http://www.depoorter.com)
- [www.dmsail.com](http://www.dmsail.com)
- [www.efdeportes.com](http://www.efdeportes.com)
- [www.isopec.com](http://www.isopec.com)
- [www.masmar.net](http://www.masmar.net)
- [www.mathematik.uni-dortmund.de](http://www.mathematik.uni-dortmund.de)
- [www.northsails.com](http://www.northsails.com)
- [www.Riggingandsails.com](http://www.Riggingandsails.com)
- [www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)