

ÍNDIX

1.	INTRODUCCIÓ	3
1.1	Antecedents	3
1.2	Objecte.....	4
1.3	Abast.....	4
2.	TEORIA DE LA VELA	5
2.1	Introducció	5
2.2	Vent real i vent aparent	6
2.3	L'acció del vent sobre la vela	6
2.3.1	El principi de Bernouilli	6
2.3.2	Formació de la sustentació.....	8
2.4	Distribució de pressions.....	11
2.5	Les forces aerodinàmiques	13
2.5.1	El centre vàlic i el centre de deriva	14
2.5.2	Interacció amb les forces hidrodinàmiques	16
3.	L'OPTIMIST.....	19
3.1	Història.....	19
3.2	Dades tècniques i components	20
3.3	El trimatge de la vela	21
4.	ESTUDI AERODINÀMIC	28
4.1	Simulació aerodinàmica amb CFD	28
4.2	Modelització de tres veles	30
4.3	Simulació de tres models de vela	38
4.3.1	Pre-procés	39
4.3.2	Post-procés.....	41
4.4	Anàlisi de resultats.....	42
4.4.1	Anàlisi qualitatiu	42
4.4.2	Anàlisi quantitatiu.....	45
5.	CONSTRUCCIÓ D'UNA VELA.....	51

5.1	Disseny	51
5.2	Procés de construcció	52
6.	ANÀLISI EXPERIMENTAL DE LA VELA	57
6.1	Anàlisi estàtic	57
6.2	Anàlisi dinàmic.....	59
7.	RESUM DEL PRESSUPOST	62
8.	CONCLUSIONS.....	63
9.	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	66
10.	BIBLIOGRAFIA.....	67
A ANNEX. NOCIONS BÀSIQUES EN L'ÀMBIT DE LA NAVEGACIÓ A VELA.....		69
A.1	PARTS BÀSIQUES D'UNA EMBARCACIÓ DE VELA LLEUGERA.....	69
A.2	PARTS D'UNA VELA	71
A.3	VOCABULARI GENERAL.....	72
A.4	RUMBS DE NAVEGACIÓ A VELA	73
A.5	L'EVOLUCIÓ DE LA VELA	74
B ANNEX. CÀLCULS ANÀLISI TEÒRIC QUANTITATIU.....		79
C ANNEX. REGLAMENT DE CLASSE OPTIMIST.....		83
D ANNEX. CERTIFICAT DE MEDICIÓ DE LA VELA		96

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

La primera embarcació propulsada a partir de la força del vent va ser creada fa més de cinc mil anys. Des d'ençà, l'estudi aerodinàmic del vent ha permès l'evolució de la vela com a motor de propulsió amb l'objectiu de maximitzar la velocitat dels diferents tipus d'embarcacions. Avui en dia, tot i que la navegació a vela només s'empara en l'àmbit de lleure i esport l'objectiu continua sent el mateix: trobar un model de vela òptim per a cada embarcació.

L'Optimist és l'embarcació de vela lleugera infantil per excel·lència des de la dècada dels cinquanta. Es considera el prototip de vaixell ideal per a fomentar l'esport de la vela entre els més joves i és reconegut a nivell internacional amb més de 250.000 exemplars arreu del món. Com a model d'embarcació estandarditzat, és representat per la *Internacional Optimist Dinghy Association*. La IODA promou la Classe i vetlla pel compliment de les diferents normatives que la parametritzen a nivell de seguretat, reglament de competició i construcció de prototips. La Figura 1 mostra una imatge d'una concentració de Optimists realitzant una regata.



Figura 1. Regata d'embarcacions classe Optimist

Són moltes les veleries que intenten fabricar models de vela òptims per una embarcació de tal fama mundial. Des de l'experiència com a ex-navegant de la Classe i posterior entrenadora, neix la idea de crear un prototip de vela d'Optimist a nivell particular.

1.2 Objecte

L'objectiu del present projecte és crear un model de vela competent i adequat per a l'embarcació esportiva Optimist. Es pretén satisfer les necessitats i maximitzar el rendiment aerodinàmic en funció de les condicions a les que es sotmeti i al tipus de patró al qual es destina. També cal que s'adapti als paràmetres establerts pel Reglament de Classe per tal d'oferir un model comprès dins el marc de la normativa vigent i vàlid per l'ús en la competició dins l'esport que representa.

1.3 Abast

El projecte comprèn un seguit de fases: estudi teòric, disseny i simulació, fabricació i, finalment avaluació experimental del prototip. Després d'estudiar els principis de treball de les veles, es dissenyaran tres models que encaixin dins el marc de la normativa. Posteriorment seran analitzats teòricament utilitzant un software de simulació CFD i s'escollirà el que es consideri òptim per a uns factors determinats. Es durà a terme la fabricació del model escollit seguint unes pautes i processos adequats i es farà una avaluació experimental de dit model arribant als termes de navegació. Si el model és adequat per l'ús i validat per un professional del sector, s'emprarà en termes de competició.

2. TEORIA DE LA VELA

2.1 Introducció

La navegació en vaixells de vela és el conjunt de tècniques que permeten aprofitar l'energia cinètica d'un fluid en moviment (aire) com a força impulsora per fer desplaçar un sòlid (el veler) per sobre d'un altre fluid (aigua) que sovint també està en moviment.

La velocitat que un vaixell pot aconseguir està determinada per la combinació de diferents forces: aerodinàmiques, hidrodinàmiques, de flotabilitat i gravitacionals, juntament amb la tècnica de navegació de la tripulació.

El conjunt del vaixell, com a sistema físic, comprèn una sèrie d'elements estretament vinculats entre si: el casc, el màstil, l'eixàrcia, les veles i els apèndix. No es pot determinar el rendiment general del sistema a través dels rendiments de les diferents parts contemplades de manera independent.

A l'hora d'exposar la teoria de la vela es consideren unes condicions estables de navegació, és a dir, el vent té una direcció determinada constant i la superfície del mar roman calmada. A més, cal tenir present que el vent que realment percep la vela és l'anomenat vent aparent, que resulta de la composició del vent real més el vent generat pel propi moviment de l'embarcació. El twist que presenten les veles és una conseqüència directa d'aquest fet.

Quan el vent entra en contacte directe amb la vela genera una pressió estàtica. Altrament, quan la força produïda és deguda al moviment del vent al voltant del perfil vèlic la pressió generada és dinàmica. En el present projecte, les veles s'estudien com un perfil que genera sustentació, situació donada quan l'embarcació rep el vent a un angle entre 15 i 90°. Per a angles superiors, la vela pràcticament no genera sustentació i treballa a partir de la força d'empenta directa del vent sobre la seva superfície. El comportament de les veles ambdós casos és completament diferent. Així doncs, el principi de sustentació és vàlid en la navegació en rumb tancats, és a dir, la cenyida i el través. Altrament, en rumb oberts amb vent portant l'embarcació es mou pel contacte directe del vent sobre la vela.

Es considera que a nivell del mar el vent circula a velocitats baixes i no pateix variacions importants en la seva densitat, de manera que s'estudia com a fluid incompressible.

2.2 Vent real i vent aparent

A mida que l'embarcació pren velocitat es genera un major vent aparent. Aquest, combinat amb el vent real, fa que la velocitat de l'embarcació continuï en augment i així successivament fins assolir un límit acotat per les resistències aerodinàmiques i hidrodinàmiques.

D'altra banda, segons augmenta la velocitat de l'embarcació, el vent aparent varia la seva direcció desplaçant-la cap a l'eix de la proa del vaixell. Si aquest continua augmentant la velocitat, el vent aparent es posiciona de manera que s'assoleix el punt d'angle límit de cenyida que les veles permeten, limitant, d'aquesta manera, l'ascens de velocitat. La Figura 2 mostra la formació del vector de vent aparent a partir del vent real i la velocitat que porta l'embarcació.

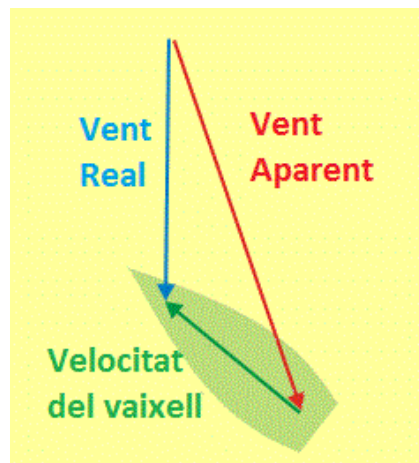


Figura 2. Formació del vent aparent

2.3 L'acció del vent sobre la vela

2.3.1 El principi de Bernouilli

El principi que explica per què les veles generen una força de sustentació és Bernouilli. De manera simplificada, es consideren negligibles les pèrdues per fricció i es basa en el fet que un augment de velocitat va acompanyat d'una disminució de pressió, i viceversa, a causa que l'energia total d'una massa de fluid en moviment ha de romandre constant.

L'energia del fluid (aire) es pot presentar en tres formes: velocitat, pressió i calor. Tenint en compte que l'energia calorífica només és present quan el gradient de pressions és elevat, no és representativa en una vela ja que el flux al voltant d'aquesta presenta uns gradients de pressió

de magnitud no significativa i, per tant, la temperatura del flux no variarà. Conseqüentment, l'intercanvi d'energia es presenta entre velocitat i pressió.

Amb les consideracions anteriors, el teorema de Bernoulli s'expressa simplificadament a l'Equació 1 i és vàlid per a dos punts d'una línia de corrent que no varia en la seva alçada.

$$p_{st1} + \frac{1}{2} \rho \cdot c_1^2 + H_m = p_{st2} + \frac{1}{2} \rho \cdot c_2^2 + \Delta h_{1-2} \quad (\text{Eq. 1})$$

p_{st}: pressió estàtica

ρ: densitat del fluid

c: velocitat

H_m: treball mecànic cedit o absorbit (en les veles és nul)

Δh_{1,2}: pèrdues del tram entre els punts 1 i 2

Tenint en compte el teorema de Bernoulli, perquè un cos com la vela dins d'un fluid experimenti un gradient de pressions que generi una força cal diferenciar dues zones: una amb pressió superior (cara de pressió) i una altra amb una pressió menor (cara de succió) on el vent circularà amb diferents velocitats.

L'explicació de trobar diferents velocitats partint d'una única (velocitat del vent lluny del perfil) és l'aparició d'una circulació al voltant del perfil vàlic. La Figura 3 mostra una representació de la circulació del vent al voltant del perfil vàlic i com es genera una força resultant a partir del gradient de pressions entre la cara de sobrevent (cara de pressió) i la cara de sotavent (cara de succió).

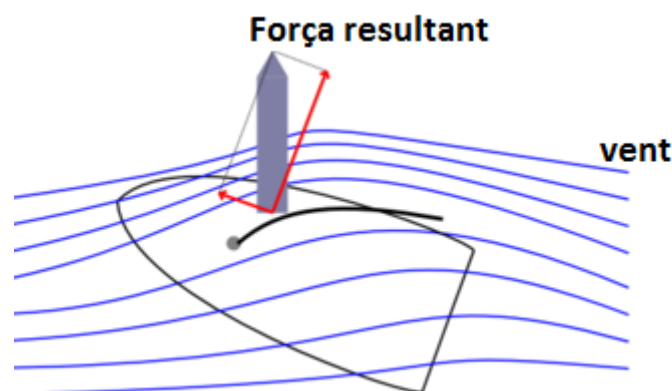


Figura 3. Circulació del vent a través del perfil vàlic i generació de la força resultant

Tal com s'ha citat anteriorment, cal diferenciar la distribució de pressions sobre una vela en funció de l'angle del vent aparent, és a dir, en funció del rumb que pren l'embarcació.

Per a rumbos on l'angle del vent aparent és inferior a 90° , la distribució de pressions es caracteritza per una forta succió a la banda de sotavent de la vela. La succió és màxima a la zona del gràtil de la vela. Aquest és el cas on la vela impulsa l'embarcació gràcies a la sustentació originada i la força resultat prové, majoritàriament, de la depressió al costat de sotavent de la vela. D'aquesta manera, s'aplica el principi de Bernoulli.

Per a rumbos on l'angle del vent aparent és superior a 90° , la distribució de pressions canvia dràsticament. La vela mou l'embarcació per l'efecte de sobrepressió originat al costat de sobrevent de la vela a partir de la transformació de la pressió dinàmica a estàtica procedent de l'impacte del flux d'aire contra el perfil vèlic. Així doncs, en aquests casos no s'aplica el teorema de Bernoulli. La Figura 4 mostra una imatge d'embarcacions Optimist navegant en rumb d'empopada. En aquest rumb la velocitat s'origina per la sobrepressió del vent al costat de sobrevent.



Figura 4. Veles treballant per sobrepressió en rumb d'empopada

2.3.2 Formació de la sustentació

El següent apartat descriu el procés de generació de la sustentació en una vela a partir del moment en què el flux d'aire circula al voltant d'aquesta.

D'un principi, el vent flueix a través dels dos costats de la vela des del gràtil fins la baluma. Es considera que les dues primeres partícules d'aire que estaven juntes en un flux laminar, al xocar contra el gràtil es separen. La forma corba de la vela fa que el corrent d'aire segueixi dita

geometria. Així doncs, l'aire que flueix pel costat de sobrevent arriba abans a la baluma que l'aire de sotavent degut a que el seu recorregut és més curt. La Figura 5 representa dit procés.

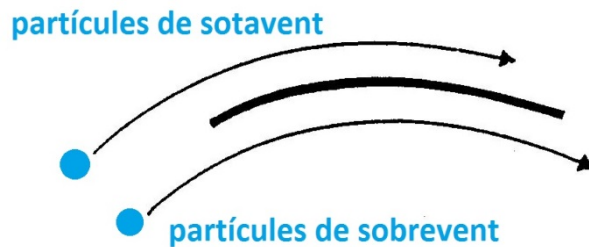


Figura 5. Inici de la circulació del vent sobre el perfil vèlic

La primera partícula d'aire que recorre la vela fins arribar a la baluma llisca al seu voltant per tal de trobar la seva partícula germana que flueix per la banda de sotavent. Aquestes topen en el punt d'estancament on no hi ha corrent d'aire en cap direcció. A la Figura 6 es representa el punt d'estancament quan la partícula de sobrevent intenta passar al voltant de la baluma.

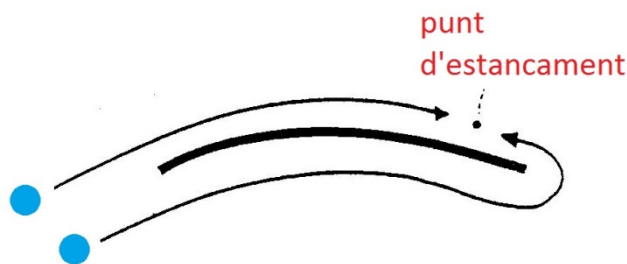


Figura 6. Formació del punt d'estancament

En el següent instant es forma un remolí (vòrtex) a sotavent de la baluma. A la Figura 7 es pot observar.

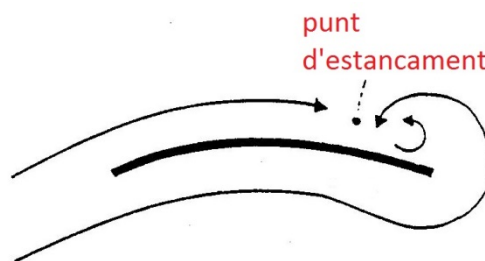


Figura 7. Formació d'un remolí a sotavent de la baluma

De forma natural, el remolí es desplaça al final de la vela perdent-se arrossegat per la corrent lliure d'aire. A mesura que es desplaça també ho fa el punt d'estancament, situant-se darrere

la baluma. Des d'aquest moment, les partícules d'aire que circulen per la cara de sotavent han d'incrementar la seva velocitat per tal de trobar les seves partícules germanes de sobrevent en el nou punt d'estancament. La Figura 8 representa el nou punt d'estancament i l'acceleració de les partícules de sotavent per trobar-se amb les de sobrevent al mateix temps.

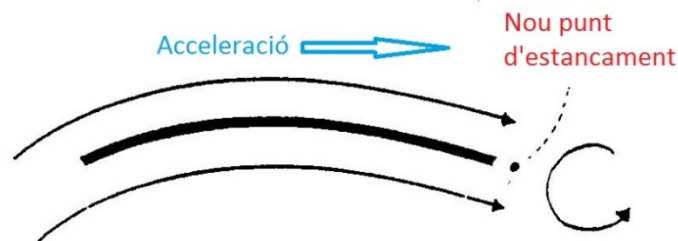


Figura 8. Nou punt d'estancament

Finalment, es genera una circulació general al voltant de la vela. Una forma de visualitzar com treballa el remolí inicial, és pensar en un petit engranatge que s'acobla i mou a un gran engranatge per començar el seu moviment circular. La corrent circulatoria es combina amb la corrent d'aire lliure produint la corrent resultant o total. La circulació desaccelera el flux de corrent d'aire lliure de la cara de sobrevent de la vela causant una zona d'alta pressió i accelera el corrent d'aire de la cara de sotavent de la vela provocant una zona de baixa pressió. Com a resultat, si s'agafa la pressió estàtica del corrent lliure igual a l'atmosfèrica, a la banda de sobrevent hi ha sobrepressions i a la de sotavent depressions. Aquesta diferència de pressions és la que origina una força resultant. La Figura 9 mostra la circulació final al voltant de la vela. Aquesta és l'origen del fenomen de sustentació.

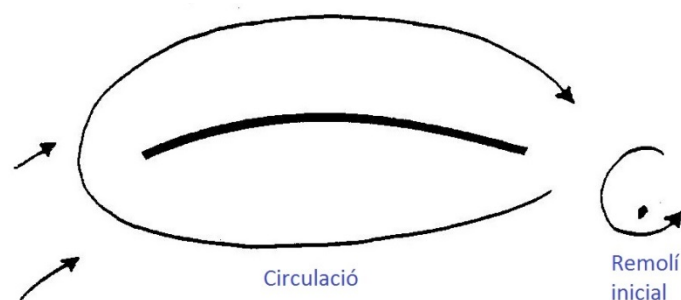


Figura 9. Circulació final del flux

2.4 Distribució de pressions

El diagrama de distribució de pressions mostra que el costat de sotavent de la vela fa la major part del treball, en concret la zona del gràtil. La sustentació és la força total exercida pels perfils perpendiculars al flux del fluid. Es pot comparar amb el cas d'un avió amb la diferència que el flux d'aire és horitzontal i la sustentació és la força vertical cap a dalt. La Figura 10 mostra el diagrama de pressions d'una vela.

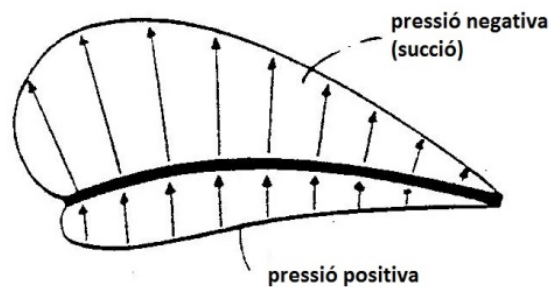


Figura 10. Diagrama de pressions d'una vela

Per tal d'estudiar la distribució de pressions sobre una vela, l'Equació 2 defineix la diferència de pressions:

$$\Delta p = p - p_0 \quad (\text{Eq.2})$$

p: pressió estàtica sobre un punt qualsevol de la vela

p₀: pressió corresponent al flux de corrent lliure

Amb la finalitat d'obtenir un resultat independent a les condicions d'intensitat del vent, es defineix el coeficient de pressió adimensional C_p que resulta de la divisió de la diferència de pressions entre la pressió dinàmica del corrent lliure. S'exposa a l'Equació 3.

$$C_p = \frac{\Delta p}{q_0} = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho \cdot c_0^2} = 1 - \left(\frac{c}{c_0}\right)^2 \quad (\text{Eq.3})$$

Aquest coeficient relaciona la pressió estàtica (p) i la pressió dinàmica (q), i no pot excedir mai la unitat. El valor límit unitari respon a que tota la pressió dinàmica es transforma en estàtica i, per tant, que la velocitat del flux és nul·la. Així doncs, els punts d'estancament de la vela tenen $C_p=1$.

La distribució normal de coeficients de pressió resultants en una vela navegant en rumb de cenyida és la mostrada a la Figura 11.

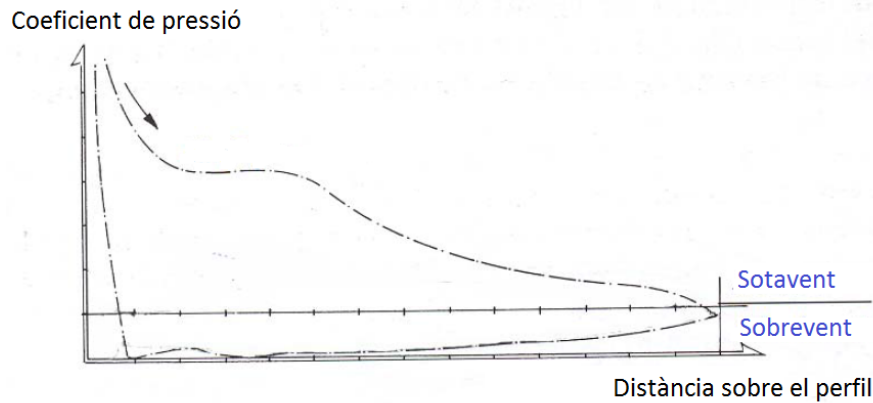


Figura 11. Coeficient de pressió sobre una vela

S'observa que la vela presenta una cara de sobrevent amb uns valors de sobrepressió força uniformes, mentre que a la cara de sotavent la distribució de pressions que reflexa la succió és menys regular. Els valors mínims de pressió es localitzen prop del gràtil (C_p més petit). Aquesta diferència de pressions és la que origina la força resultant, que a la vegada es pot descomposar en una base que permet observar la component de la força d'avanç (F_D) i la component de la força d'escora (F_H). Cal destacar que en la navegació en cenyida la contribució de la força resultant de les succions en front a les sobrepressions és de l'ordre del 60-75%.

A la Figura 12 es pot veure la descomposició vectorial de la força resultant en tres punts diferents de la vela. Novament, la màxima contribució a la força d'avanç es produeix a prop del gràtil de la vela. A mida que s'avança pel perfil vèlic, la contribució disminueix ràpidament i pot arribar a ser negativa en veles amb balumes massa tancades tal com es representa a la imatge B on la baluma està més tancada que a A.

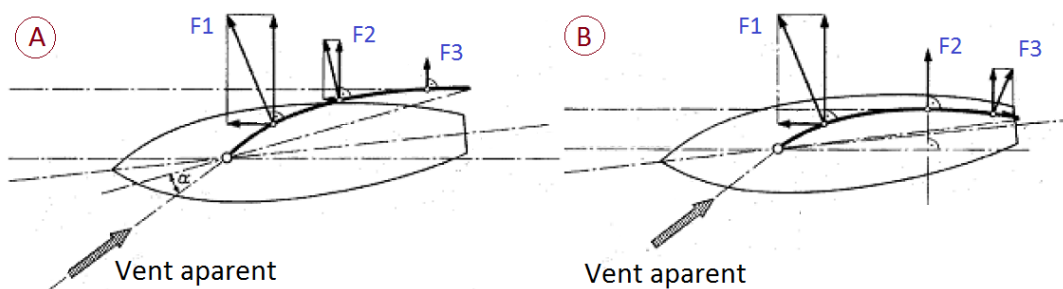


Figura 12. Força resultant a diferents punts d'una vela

2.5 Les forces aerodinàmiques

Tal com s'ha introduït al capítol anterior, la força aerodinàmica resultant sobre una vela es pot descomposar en dos components: el primer correspon a la força d'avanç F_D , en la mateixa direcció de l'eix de crugia del vaixell, i el segon correspon a la força d'escora o força de deriva F_H responsable de l'estabilitat de l'embarcació i de la deriva d'aquesta. Aquesta descomposició permet estudiar l'eficiència de les forces, doncs una força resultant menor en mòdul pot ser millor si la component de la força d'avanç és major, i viceversa. A més a més, és molt important limitar el mòdul de la força d'escora, ja que per determinats valors el patró no podrà controlar l'estabilitat de l'embarcació i aquesta bolcarà o derivarà en excés.

Com a resultat de les forces aerodinàmiques originades pel principi de sustentació, apareix una tercera força de resistència a l'avanç deguda a les veles. La resistència a l'avanç es pot classificar en resistència induïda, resistència de fricció i resistència de forma, segons l'origen.

La resistència induïda apareix en el moment que es considera la vela com una superfície tridimensional, el que provoca que en els extrems de la mateixa les pressions s'igualin disminuint la sustentació resultant. L'allargament del perfil i la seva forma tenen gran consideració en la magnitud d'aquesta resistència.

La resistència de fricció vèlica és causada per la fricció de l'aire sobre la superfície de la vela.

La resistència de forma fa referència al possible despreniment del flux a la cara de sotavent de les veles i està relacionada amb la forma del perfil vèlic. El trimatge de la vela és essencial per minimitzar aquesta resistència.

La Figura 13 mostra els vectors de totes les forces aerodinàmiques generades sobre la vela.

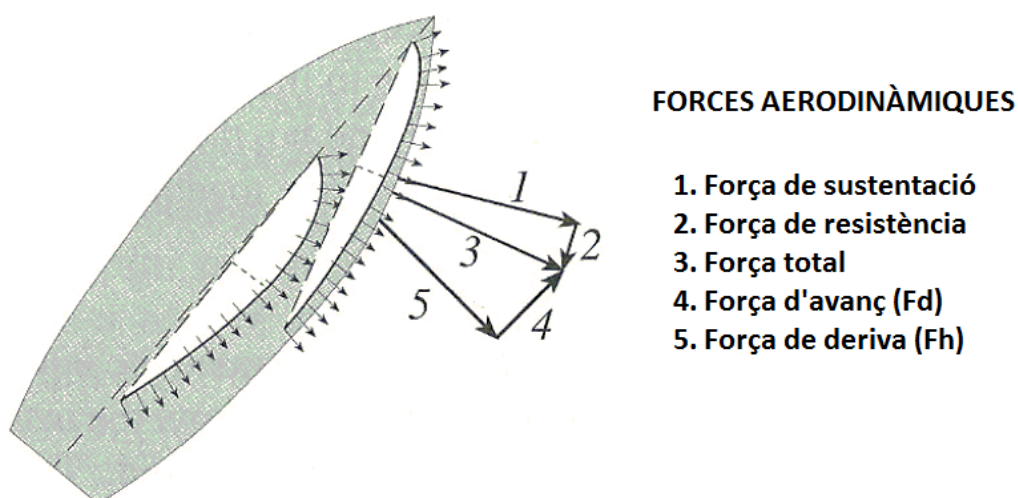


Figura 13. Forces aerodinàmiques sobre una vela

2.5.1 El centre vèlic i el centre de deriva

El punt de la vela on convergeix la força resultant causada per l'acció del vent aparent s'anomena centre vèlic (CV) i la força que s'hi aplica té direcció perpendicular al pla tangent a la vela. Per a veles triangulars s'aproxima mitjançant les medianes dels costats. En canvi, a la vela cangrea s'ubica a mitjana altura prop del gràtil. La Figura 14 representa la ubicació aproximada del centre vèlic per una vela d'Optimist. Per a vaixells de més d'una vela, el centre vèlic total es calcula a partir de les posicions de cadascuna de les veles.

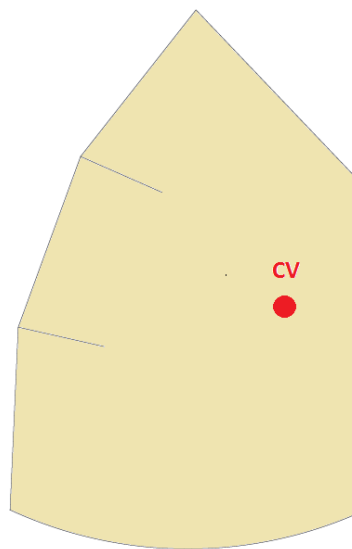


Figura 14. Centre vèlic d'una vela d'Optimist

A la majoria d'embarcacions es pot desplaçar la posició del centre vèlic mitjançant un mecanisme anomenat carlinga ubicat a la base del màstil. Aquest modifica la inclinació del pal respecte la vertical. El moviment del màstil implica un desplaçament del centre vèlic cap a la proa o bé cap a la popa del vaixell. La Figura 15 mostra el desplaçament del centre vèlic en funció de l'angle que pren el màstil respecte la vertical.

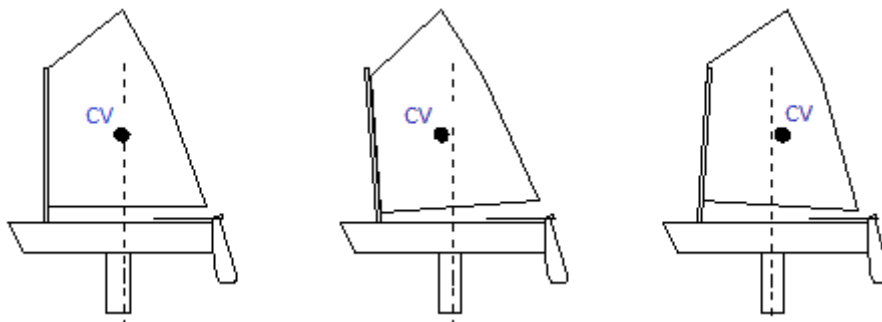


Figura 15. Desplaçament del centre vèlic

La posició del centre vèlic d'un vaixell és molt important per la navegació. Si el centre vèlic es troba massa a proa o massa a popa el vaixell serà difícil de controlar ja que no respondrà bé a la posició del timó. La raó d'aquest fenomen es la interacció del centre vèlic amb el centre de gravetat de l'embarcació o centre de deriva (CD) sobre el qual s'aplica el propi pes de l'embarcació.

En l'eix longitudinal del vaixell, quan el CV es troba més a la popa que el CD l'embarcació té tendència a orsar, és a dir, a apropar la seva proa al vent. Es diu que és una embarcació ardent. Quan el CV es troba més a la proa que el CD l'embarcació té tendència a arribar, és a dir, a allunyar la seva proa del vent. Es diu que és una embarcació tova. La Figura 16 representa aquest principi.

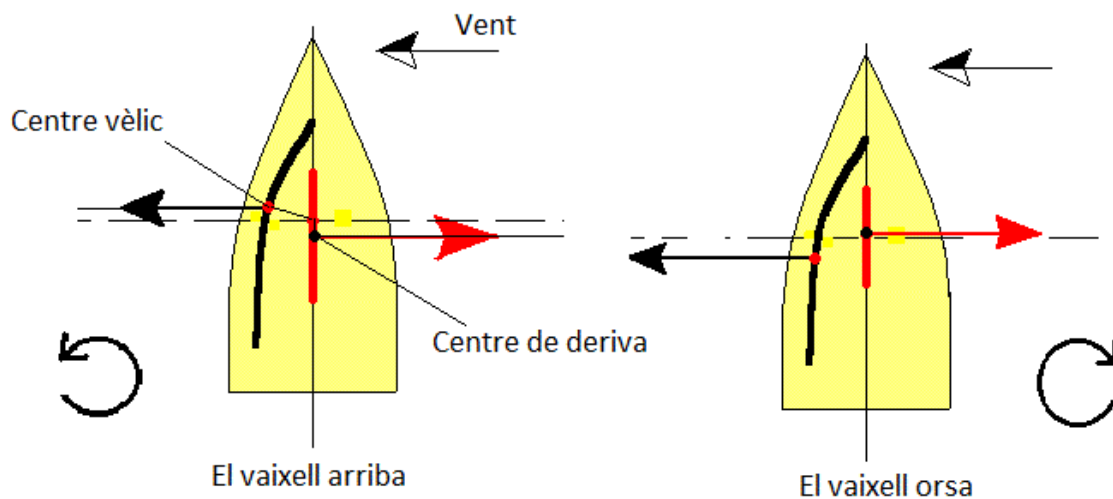


Figura 16. Embarcació tova i embarcació ardent

Quan la tendència a orsar o arribar del vaixell és massa accentuada interfereix en el control de l'embarcació efectuat pel timó i perjudica el rendiment i estabilitat de l'embarcació.

Les embarcacions que no disposen de timó, com ara el patí català o bé el windsurf, treballen sota el principi de desplaçament del centre vèlic i centre de deriva.

2.5.2 Interacció amb les forces hidrodinàmiques

Els esforços aerodinàmics suportats sobre la vela interactuen amb les forces hidrodinàmiques causades pel contacte de l'aigua amb el casc i els apèndixs (timó i orsa). A la Figura 17 es pot observar com les forces aerodinàmiques d'avanç (F_D) i de deriva (F_H) obtenen les seves oposades en el casc en forma de resistència a l'avanç (R_D) i resistència a la deriva (R_H)

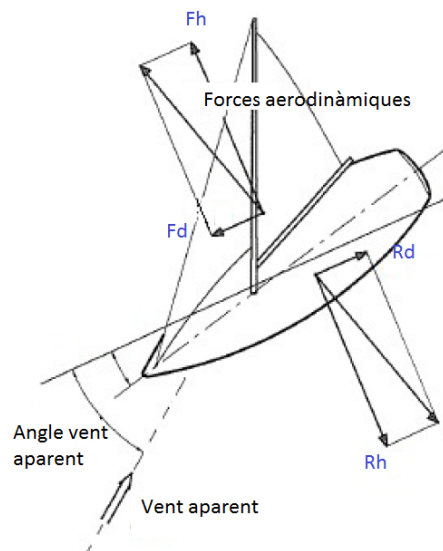


Figura 17. Forces aerodinàmiques i hidrodinàmiques en pla XZ

Aquesta interacció genera angles i escores que afecten la navegació tal com es mostra a la Figura 18.

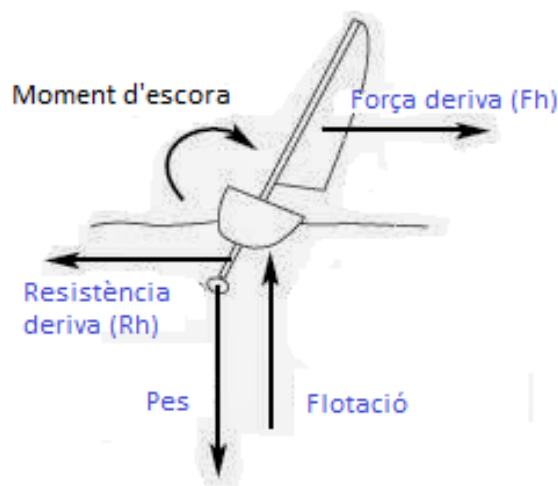


Figura 18. Moment d'escora generat per la força de deriva i la resistència

Per estudiar els moments que provoca la força de deriva i la seva oposada, primer cal conèixer els punts d'aplicació de les forces. Tal com s'ha explicat en el capítol anterior, la resultant de la força aerodinàmica es concentra en el centre vèlic. La seva oposada hidrodinàmica ho fa en el centre de resistència lateral (CLR).

Igual que el centre vèlic per la vela, el CLR és el punt del vaixell on es pot considerar que s'apliquen les forces hidrodinàmiques generades per l'obra viva (superfície submergida del vaixell) i es situa sobre l'orsa.

Així doncs, per tal de valorar el moment d'escora M_H generat per la força d'escora i la resistència hidrodinàmica es prenen com a punts d'aplicació d'aquestes el CV i el CLR. El punt de referència sobre el qual pivoten les forces és el centre de gravetat o centre de deriva CD. La Figura 19 mostra les dues forces i el seu punt d'aplicació.

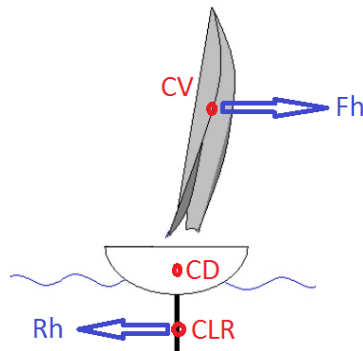


Figura 19. Formació del moment d'escora

Arribat a aquest punt, es lògic pensar que per forces suficientment grans es generarà un moment que escorà la embarcació fins bolcar-la. En aquest instant intervé la figura del patró que equilibra l'embarcació amb el seu propi pes generant un moment adreçant. La Figura 20 introdueix la figura del patró en forma de pes (P) causant un moment respecte el centre de deriva (CD).

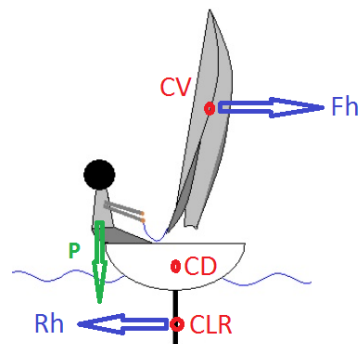


Figura 20. Intervenció del pes del patró

Es fa especial atenció en aquest principi degut a que és vital per a l'estudi del present projecte on es pretén dissenyar una vela. Per a determinades veles, en un rang de vent donat es pot generar tal força d'escora (F_H) que el patró no serà capaç d'adreçar el veler i, per tant, mantenir-ne l'estabilitat. Aquest fet perjudica greument el rendiment de l'embarcació. La Figura 21 mostra un clar exemple de patró d'Optimist que no pot estabilitzar la seva embarcació degut a que la seva vela genera massa força d'escora per una intensitat de vent donada i ell no té suficient pes per adreçar el vaixell.



Figura 21. Optimist escorat en excés

Així doncs, en l'anàlisi de resultats dels models de vela creats es prendrà especial consideració a la força d'escora generada per diferents intensitats de vent i en la capacitat del patró per adreçar l'embarcació.

Es detalla l'estudi al capítol 4.4.2 d'anàlisi quantitatiu de resultats de la simulació CFD.

3. L'OPTIMIST

3.1 Història

L'Optimist és una embarcació de vela esportiva per a nens dissenyada l'any 1947. Des d'ençà, és l'embarcació de referència per iniciar-se a la navegació a vela. És un vaixell simple, estable i, a la vegada, competitiu. Existeixen més de 250.000 unitats arreu del món i més de 100 països estan representats a la *International Optimist Dinghy Association* (IODA), organisme internacional que agrupa les associacions nacionals encarregades de la regulació i desenvolupament de l'Optimist a cada país.

Originàriament, fou dissenyat per l'enginyer naval Clark Mills (Clearwater, Florida) inspirant-se en un model d'embarcació fet amb caixes de sabó industrial amb la que jugaven els nens de la zona. Ràpidament, es va tornar popular a l'àrea entre els navegants més joves, però va assolir la fama internacional quan l'any 1954 el navegant Axel Damsgard va promoure el seu ús a Escandinàvia, primer, i més tard arreu del món. La Figura 22 mostra prototips d'Optimist antics.



Figura 22. Prototips d'Optimist dels anys 70

En els últims Jocs Olímpics, més del 50% dels timoners en competència s'iniciaren a la navegació, de joves, amb la classe Optimist. De la mateixa manera, al Mundial ISAF 2003, 16 de les 27 medalles en disputa van quedar en mans d'antics navegants d'Optimist.

Al llarg dels anys, el conjunt de l'embarcació ha sofert una evolució a nivell d'estructura, dimensions, accessoris i material reflectides en el que s'anomena *Reglament de Classe* i d'obligatori compliment de cares a la competició.

La *International Optimist Dinghy Association (IODA)* i la *International Sailing Federation (ISAF)* vetllen perquè cada Optimist parteixi d'uns únics paràmetres i normativa (*one-design*) revisant a cada competició aspectes de medició, seguretat i infraccions del Reglament de Classe, així com, controlant el producte que ofereix cada fabricant. La Figura 23 mostra el símbol de la Classe Optimist. És d'obligatori compliment que totes les veles portin aquest logotip per representar la Classe.



Figura 23. Logotip de la Classe Optimist

3.2 Dades tècniques i components

L'Optimist és un veler monotip (apte per a un sol tripulant) estable i fàcil de maniobrar. El seu disseny el valida per a navegar en un gran rang de condicions. La Figura 24 junt amb la Taula 1 mostren la composició d'elements que formen un Optimist i les principals dades tècniques d'aquest.

Eslora	2,30 m.
Màniga	1,13 m.
Material casc	fibra de vidre o fusta
Pes casc	35 kg
Material pals	Alumini
Material orsa i timó	Fibra de vidre
Sup. Vèlica	2,8 m2

Taula 1. Dades tècniques d'un Optimist

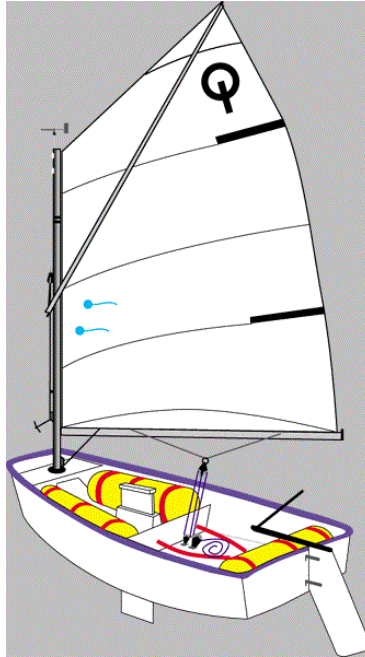


Figura 24. Esquema d'un Optimist

Una de les particularitats de l'Optimist que es pot observar a la Figura 24 és l'existència de tres flotadors inflables subjectats a la banyera del casc. Això és degut a que l'Optimist és l'únic monotip sense càmera d'aire dins el casc. Si no s'ubiquessin dits flotadors, quan el vaixell bolqués s'emplenaria d'aigua i s'enfonsaria. També s'observa la disposició de dues cintes a la base de la banyera. S'utilitzen per tal que el patró pugui equilibrar el vaixell posant els peus per sota aquestes i penjant-se traient el cos per fora la borda. Finalment, cal destacar la geometria de la vela que rendeix homenatge a l'antiga vela cangrea. En l'actualitat, es l'única embarcació de vela lleugera que fa servir aquest model de vela.

3.3 El trimatge de la vela

El trimatge comprèn el conjunt d'ajustaments que es realitzen als diferents elements que componen l'embarcació per tal d'aconseguir millorar el rendiment d'aquesta en funció de les condicions de navegació existents. L'objectiu del trimatge no es basa només en maximitzar la velocitat del vaixell sinó que pretén fer la navegació més còmode i segura.

Partint d'un disseny de vela i material apropiat pel patró, aquest és l'encarregat de trimar la vela per tal d'adequar-la a les condicions meteorològiques del moment.

Cal entendre com treballa cada reglatge i com afecta a la forma de la vela per tal de trobar la combinació perfecta que optimitzi la navegació.

Controls dels que disposem:

- a) **Perxa:** és el control que té més influència sobre la baluma i cal ajustar amb més freqüència durant la navegació. Per evitar deformitats i plecs desitjats a la vela cal ajustar-la en la mesura que varia la intensitat del vent durant la navegació. La Figura 25 mostra el sistema de regulació de tensió de la perxa format per una mordassa subjecta al màstil per on passa el cap que regula l'alçada de la perxa. A l'extrem del cap s'hi disposa una base per facilitar la regulació de la tensió.



Figura 25. Sistema de regulació de la perxa

- b) **Contra:** Suporta la tensió de la baluma quan es practiquen rumbos portants. En rumbos tancats és l'escota qui suporta aquestes tensions. Amb vents d'intensitat forta cal portar-la caçada amb màxima tensió per tal de mantenir una altura correcta a la botavara. La Figura 26 mostra el sistema de contra: un cap que uneix la botavara amb el màstil i que regula la tensió amb una mordassa a la base del màstil.



Figura 26. Sistema de contra d'un Optimist

- c) **Pujament:** Aquest element de trimatge s'anomena d'igual forma que la part de la vela que regula. Controla la tensió del pujament de la vela augmentant o disminuint la profunditat de la bossa que forma. En condicions d'onada és important mantenir una certa bossa per disposar de potència per remuntar les onades. En condicions de mar plana és preferible caçar-lo mesuradament per tal de tenir un millor angle de cenyida. La Figura 27 il·lustra la bossa que forma el pujament, és a dir, la part de la vela més propera a la botavara.



Figura 27. Bossa del pujament

- d) **Caiguda del màstil (carlinga):** En funció de les condicions de vent el màstil s'adaptarà a un cert angle respecte la vertical mitjançant el moviment de la carlinga. La caiguda del màstil comporta el desplaçament del centre vàlic. El punt d'equilibri és el qual en què en la navegació en cenyida si el patró deixa anar el timó l'embarcació té una tendència suau a orsar (embarcació ardent). En casos de vent de forta intensitat caldrà ajustar l'angle del pal cap endavant per compensar la flexió d'aquest. Cal modificar la caiguda per tal de que l'embarcació respongui de igual manera en tota condició i es mantingui el punt d'equilibri. La Figura 28 mostra la carlinga, sistema on s'encaixa el màstil i es regula l'angle d'aquest. La carlinga va subjecta a la base del casc de l'Optimist a la part de proa.



Figura 28. Carlinga d'Optimist

- e) **Escota:** No només determina l'angle de caçat. També té una gran influència sobre la baluma en rumb de cenyida. Cal tenir en compte que el fet de caçar-la o amollar-la no només ajusta la obertura de la vela sinó que també canvia la curvatura de la baluma. La Figura 29 mostra l'escota d'un Optimist totalment amollada permetent l'obertura màxima de la vela a 90° respecte l'eix de cruixia.



Figura 29. Escota amollada

- f) **Metafions:** Cal ajustar-los de manera que la flexió del pal durant la navegació no afecti negativament al rendiment de la vela. És important que no apliquin tensió sobre la vela deformant-la. La Figura 30 mostra els dos metafions que uneixen la vela amb el màstil i la botavara en el puny de amura.

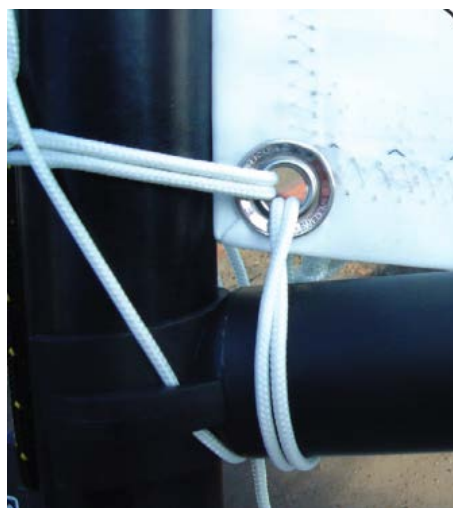


Figura 30. Puny d'amura d'una vela d'Optimist

Sense tenir en compte el pes i tècnica del patró, les premisses de trimatge en funció del vent i estat de la mar són les següents.

a) Vents suaus (0-8 nusos) i mar plana

La falta d'onada permet transformar tot el potencial de la vela en capacitat per a cenyir. Convé una tensió del gràtil baixa que faci desplaçar la bossa de la vela cap a darrera donant una entrada del vent més plana i aconseguint millor capacitat de cenyida.

- Perxa: Establir la perxa per el vent dominant de intensitat baixa, de manera que quedarà poc tensa en els moments de ratxa de vent. Caçar la perxa en excés causa massa tensió en la baluma, fet molt perjudicial en vents suaus. La Figura 31 mostra, primerament, els plecs que es formen a la vela amb una perxa massa tensa. La segona imatge representa els plecs que es formen a la vela amb una perxa insuficientment caçada.



Figura 31. Plecs a la vela causats per la tensió de la perxa

- Pujament: Tot i el vent suau, amb mar plana és millor tenir el pujament lleugerament caçat. Aplanar la vela redueix la resistència a l'avanç que produeix aquesta i millora el flux del vent. També es millora la capacitat de cenyir.
- Contra: No ha de treballar durant la cenyida, el control de la baluma ha de recaure només en l'escota. En rumbos portants es fixarà per tal que mantingui la forma de la baluma.

- Escota: Controla la tensió de la baluma durant la cenyida. Amollar l'escota obra la baluma i caçar-la la tenca a la part superior. Cal ajustar-la constantment i de manera suau als petits canvis de intensitat del vent. Una escota massa caçada tenca excessivament la baluma i el vaixell perd velocitat. Pel contrari, una escota massa amollada no permet maximitzar l'angle de cenyida.

b) Vents suaus (0-8 nusos) i onada

És important incrementar la potència de la vela per tal d'enfrontar l'onada. Quan l'embarcació passa una onada es registra una disminució de la velocitat que cal compensar amb una forma de la vela que proporcioni acceleració.

- Pujament: Cal amollar el pujament per donar més bossa a la vela i així potenciar-la.
- Gràtil: una mica de tensió al gràtil avançarà la bossa donant més empena quan entri el vent. Tot i així, una tensió excessiva aplanarà la vela i no ajudarà en aquest tipus de condicions.
- Escota: Un constant treball de trimatge amb l'escota ajudarà a obtenir acceleració quan l'embarcació perdi velocitat al pas de onada.

c) Vents mitjans (9-17 nusos)

En aquestes condicions encara es necessita tota la potència de la vela per fer el pas d'onades. L'embarcació no podrà cenyir bé si es perd velocitat per falta de potència de pas. Per tant, el trimatge adient busca l'equilibri entre velocitat i potència mantenint una certa bossa.

- Perxa: El sistema de perxa es limita a evitar plecs a la vela pel vent més constant quedant, així, menys tensa a l'entrada de ratxes.
- Pujament: Es fixa segons les condicions de onada. A major onada, més amollat. Si es detecta que l'embarcació té problemes per passar l'onada cal baixar la tensió. Altrament, una embarcació àgil però amb poc angle de cenyida requereix més tensió al pujament.

- Contra: els vents mitjans requereixen bastant tensió a la contra per tal de mantenir la baluma durant les ratxes i rumbos portants.

d) Vents forts (18 i més nusos)

Pot semblar contradictori dir que a vegades és necessari no aprofitar tot el potencial del vent, però pot ser necessari si les condicions són extremes i el material i patró no estan preparats per enfrontar-les.

La prioritat principal és mantenir l'embarcació plana i evitar la deriva. Una vela plana ajuda a complir aquest objectiu. Es comença a "despotenciar" la vela quan el patró no és capaç de contrarestar l'escora amb el seu propi pes. La Figura 32 mostra una imatge de la complicada navegació que comporta una vela mal trimada. La imatge reflexa la situació d'un Optimist amb la contra i el pujament poc caçats i massa bossa a la vela durant el rumb d'empopada.



Figura 32. Optimist amb la proa enfonsada al passar una onada en rumb empopada

- Pujament: Com més necessitat de disminuir potència més tensió. En cas d'excés de vent es caça fins al punt màxim.
- Perxa: Si amb el pujament i el gràtil caçats el patró encara té dificultats per mantenir l'embarcació plana, amollar la perxa causarà un plec a la vela que obrirà baluma i ajudarà a reduir potència.
- Contra: Una contra ben caçada amb vents forts és vital per contrarestar l'escora de l'embarcació quan entra la ratxa. També proporciona estabilitat amb vents portants, ajuda a planejar les onades i a maniobrar.

4. ESTUDI AERODINÀMIC

4.1 Simulació aerodinàmica amb CFD

Al llarg de la història s'han emprat molts mètodes per tal de crear les veles més eficients. Tot i així, en aquest camp i encara avui en dia, la intuïció i l'experiència sempre han estat el principal mitjà de treball. Això és degut a que no existeix cap base de dades ni programa de simulació que obtingui com a resultat una vela òptima per a un casc determinat.

A partir de la intuïció es poden crear models de veles per tal de ser analitzades i comprovar la seva eficàcia. A més, es poden realitzar proves de túnel de vent per tal de observar i estudiar el flux al voltant de la vela a escala més petita.

Avui en dia, els ordinadors s'han convertit en un mitjà pel càlcul d'una gran quantitat d'informació per a curts períodes de temps.

El CFD (Computational Fluid Dynamics) és una de les branques de la mecànica de fluids que utilitza mètodes numèrics i algorismes per resoldre i analitzar problemes que involucren el flux de fluids en moviment. És una àrea de recerca altament interdisciplinària que es troba en els camps de la física, les matemàtiques aplicades i ciències de la computació.

Obté prediccions qualitatives i quantitatives de fluxos mitjançant mètodes matemàtics (equacions diferencials), mètodes numèrics (discretització i tècniques de solució) i eines de software (operadors de pre- i post- processat). La Figura 33 mostra un exemple de la implementació de softwares CFD en l'àmbit d'anàlisi d'eficiència de veles.

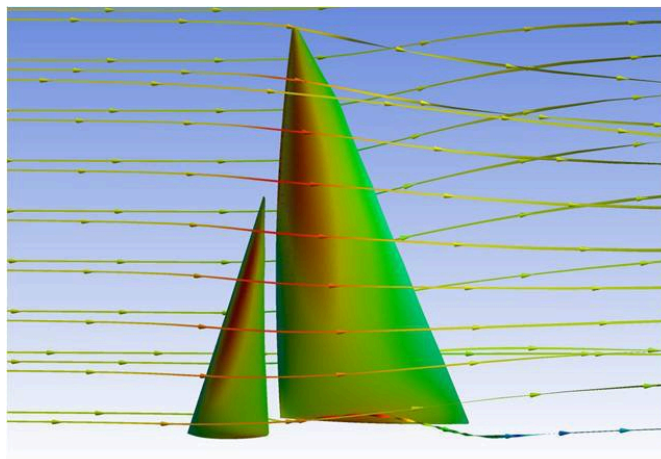


Figura 33. Exemple d'implementació de software CFD per a l'anàlisi de veles

El mètode de treball consisteix en discretitzar una regió de l'espai creant el que es coneix per una malla espacial, dividint una regió de l'espai en petits volums de control. Tot seguit, es resol en cadascun d'ells les equacions de conservació discretitzades, de forma que en realitat es resol una matriu algebraica a cada cel·la de forma iterativa fins que el residu és suficientment petit. D'aquesta manera, el CFD dona una idea dels patrons de flux d'una forma que seria impossible d'estudiar mitjançant l'ús de tècniques tradicionals.

Cal matisar que els resultats d'una simulació amb CFD no són 100% fiables pels següents motius:

- a) Les dades d'entrada impliquen masses suposicions o imprecisions. En el cas de l'anàlisi d'una vela no es pren en consideració la resta de l'embarcació ni l'estat del mar. Per simular un model real caldria utilitzar una vela flexible tridimensionalment i variant en desplaçaments i posició. A més a més, caldria tenir en compte els efectes que produeixen el trimatge i el casc de l'embarcació així com l'estat del mar. Modelar un sistema així seria molt car a nivell computacional.
- b) El model matemàtic del problema en qüestió pot ser inadequat.
- c) L'exactitud dels resultats està limitada a la potència de l'ordinador.

En el present projecte s'estudiaran els camps fluidodinàmics de pressions i velocitats, així com la força resultant de tres models de veles amb diferents dimensions. L'estudi es realitzarà mitjançant el programa ANSYS Fluent que ofereix resultats CFD ràpids i precisos.

El procés d'obtenció de resultats, però, no és immediat. En primer lloc cal definir un disseny de vela a analitzar i preparar la geometria de forma correcta. Posteriorment, acotar les condicions de contorn, obtenir un bon mallat i establir els paràmetres de resolució del problema. De no seguir correctament aquests passos previs al procés de simulació CFD, els resultats obtinguts podrien ser invàlids.

Als propers capítols s'exposa el procediment seguit per a la definició de les geometries, condicions de contorn, mallat, paràmetres de resolució i posterior simulació per a obtenir uns resultats coherents.

4.2 Modelització de tres veles

El primer pas és l'obtenció de la geometria de la vela. Aquestes s'han confeccionat mitjançant els programes *Autodesk AutoCAD* i *Inventor* que permeten obtenir un arxiu compatible a l'hora d'executar l'anàlisi CFD de *Ansys*.

El disseny s'ha efectuat d'acord amb el reglament de classe elaborat per la *International Optimist Dinghy Association* (IODA) i recollit en el document *Optimist Sail Plan 2014* que s'exposa a l'Annex B. Aquest document defineix les dimensions generals amb acotacions mínimes i màximes, els materials, reforços, tipologia de costures, dimensions i posicionament dels números de vela, etc. L'apartat de referència per fer el disseny teòric és la limitació de dimensionament.

Per tal de donar la forma correcta a una vela, s'ha de tenir en compte una sèrie de factors de disseny que responen a la definició del perfil vèlic. S'exposen a continuació:

a) Corba del gràtil.

En tota vela s'ha de tenir molt en compte en quin tipus de màstil anirà envergada i quines característiques de flexió té aquest. La corba del gràtil de la vela s'ha de correspondre amb la corba de flexió del màstil ja que sinó quan el màstil flexioni per l'acció del vent es produiran deformitats en el gràtil i apareixeran plecs indesitjats a la vela. Així doncs, per a màstils més tous i flexibles la vela haurà de tenir més curvatura de gràtil perquè flexionarà més. La Figura 34 il·lustra la curvatura que el màstil pren per a vents de mitjana intensitat.



Figura 34. Il·lustració de vela adaptada a la flexió del màstil

En el present projecte es considera la utilització d'un màstil de duresa alta fabricat en aliatge d'Alumini-Zinc 7075 T5 Aeroespacial i fet per a regatistes d'un pes al voltant de 35 kg. Aquest fet és degut a que l'avaluació experimental de la vela es realitzarà en aquestes condicions.

A l'hora de realitzar el disseny de la corba del gràtil aquest es basarà en l'observació experimental de casos de flexió del màstil ja que no es poden disposar de dades de curvatura concretes. A més, cal tenir en compte que el trimatge de la vela ajustant els metafions que la uneixen al màstil també influirà en l'adaptació a aquest.

b) Màxima profunditat i posicionament

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 10 cm en un punt on la corda de la vela fa 1 metre, es descriu com una profunditat del 10%.

La posició de la profunditat màxima en una secció determinada s'expressa com el percentatge de la distància des del gràtil fins al punt on la profunditat de la vela és màxima respecte la dimensió total de la corda. Així doncs, si el punt de màxima profunditat està situat al mig de la corda d'una determinada secció, es parla d'un posicionament del 50%. La Figura 35 mostra una secció de vela vista en planta definint la profunditat de la bossa i el posicionament d'aquesta.

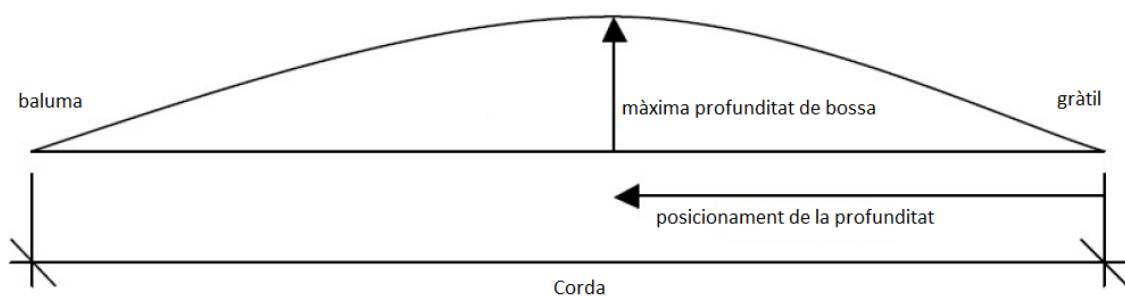


Figura 35. Representació d'una secció de vela vista en planta

c) Angle d'atac

És l'angle que forma la recta tangent a la corba del gràtil i la línia de la corda. Aquest 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 tindrà un angle d'atac més petit i, per tant, un angle de cenyida més restrictiu. Pel

contrari, una vela més plana permet portar un rumb més tancat cap a la direcció del vent però disposa d'una empenta inferior i menys potència.

d) Relació d'aspecte (AR)

Si es projecta la vela sobre un pla vertical, es pot observar la relació existent entre l'alçada d'aquesta i la seva amplada. A partir d'aquí, es defineix un paràmetre anomenat relació d'aspecte, que relaciona l'alçada de la vela amb la seva amplada. En termes generals, s'acostuma a parlar de la relació d'aspecte com el quocient entre l'alçada i l'amplada, tot i que la seva Equació 4 analítica és la següent:

$$AR = \frac{b^2}{S_A} \quad (\text{Eq.4})$$

On b =alçada i S_A = superfície vèlica

e) El twist

El twist és l'angle que forma la corda de cada secció respecte la línia de la base de la vela. Si es realitza una projecció de la vela sobre el pla horitzontal, es pot observar com en tota vela l'angle que forma la corda a les diferents seccions horitzontal de la vela respecte la corda inferior va augmentant amb l'alçada de la vela.

Tenint en compte que degut a la fricció amb el mar el vent incrementa la seva velocitat a mesura que guanya altura, a la part superior de la vela hi haurà una velocitat de flux superior i, per tant, un major angle de vent aparent. Aquest fet és degut a que a causa de les dimensions del mar, la capa límit resultant de la circulació del vent sobre la seva superfície té una alçada d'aproximadament 30 metres, amb el que una embarcació navega completament dins d'aquesta capa límit. Dins la capa límit existeix un gradient de velocitats que serà més gran o més petit depenent de les condicions atmosfèriques, i que anirà des d'una velocitat nul·la a la superfície del mar fins a la velocitat del vent fora de la capa límit. La composició d'aquest gradient de velocitats del vent real V_R junt amb la del propi moviment de l'embarcació V_s , dóna origen a l'anomenat vent aparent V_A que es caracteritza per tenir una variació en mòdul i direcció amb l'alçada.

Prenent aquesta consideració, és lògic modificar lleugerament el perfil al llarg de la vela per així conservar un valor uniforme de l'angle d'atac. La Figura 36 mostra una vela mirada des de popa on s'aprecia el twist i la direcció que pren el vent aparent V_A a mesura que guanya altura.

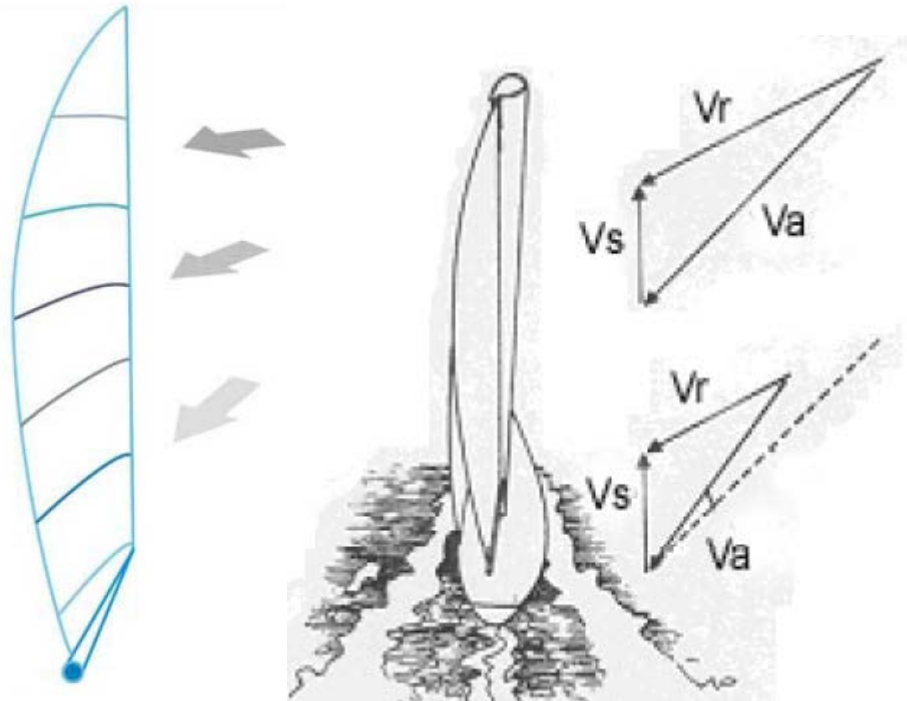


Figura 36. Representació del twist d'una vela i variació del vent aparent

Cal tenir en compte que una vela amb massa *twist* pot causar problemes d'inestabilitat en rumb oberts. En la navegació en rumb d'empopada, la situació ideal es produeix quan totes les forces puntuals de la vela són paral·leles a l'eix de cruïxa (la direcció d'avanç). Amb un angle d'obertura a la part superior de la vela es disminueix la superfície exposada al vent ja que en aquest rumb l'empenta és proporcional a la superfície exposada. D'altra banda, l'empenta de la zona alta de la vela no és paral·lela a l'eix de cruïxa i pren un angle respecte aquest. Això provoca que l'embarcació sigui més inestable i escori, amb el perill de bolcar el vaixell si les condicions de vent són prou dures.

Tenint en compte els factors de disseny exposats anteriorment, primerament, a l'hora de definir les mides de la vela s'ha de tenir en consideració les dimensions limitadores de la geometria general establertes pel Reglament de Classe i que s'exposen detalladament a l'Annex B. La Figura 37 resumeix dites acotacions a seguir.

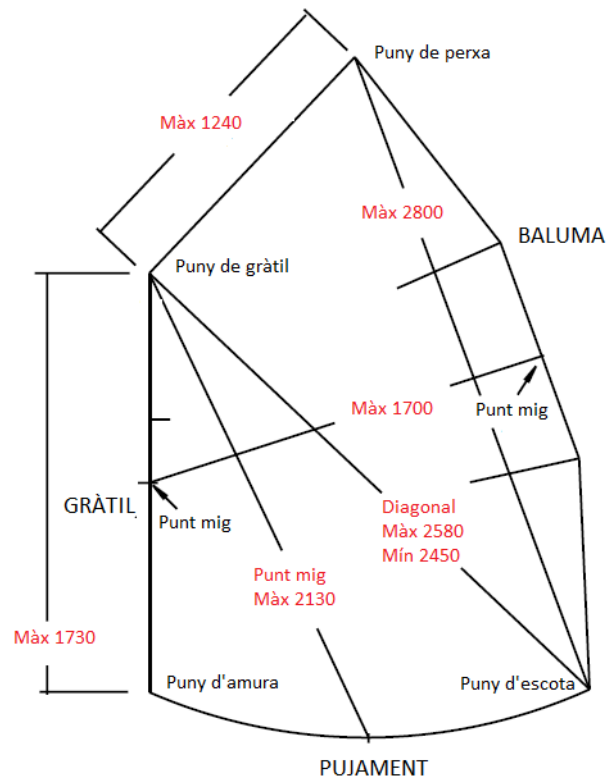


Figura 37. Geometria d'una vela d'optimist segons la IODA. Dimensions expressades en mm.

A partir d'aquí, i sempre respectant aquests marges, a través de la Figura 38 s'expressen els punts de mesura seguits per tal de definir la geometria general de la vela.

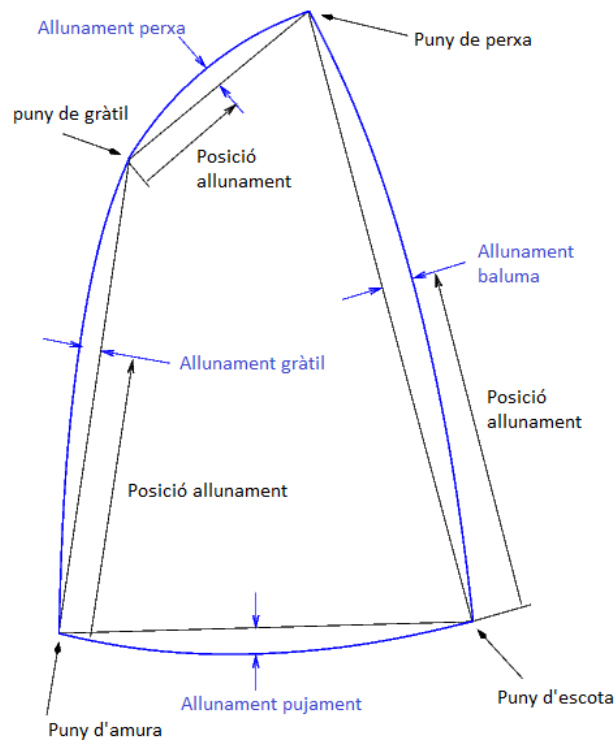


Figura 38. Representació del twist d'una vela i variació del vent aparent

Els paràmetres descrits a la Figura 38 determinen la geometria de la vela en un pla horitzontal. Seguidament, cal determinar unes segones característiques per tal de donar profunditat a la vela i atorgar-li una geometria en 3D. A continuació es determinen els punts de referència:

- a) Profunditat màxima de la bossa i posicionament d'aquesta a 3 seccions de la vela. Part baixa a prop del pujament, part mitja i part alta a prop de perxa.
- b) Angle del twist

Amb la definició de tots els paràmetres descrits s'arriba a la modelització de 3 veles. La Figura 39 és una representació dels passos seguits per tal d'arribar a uns models determinats.

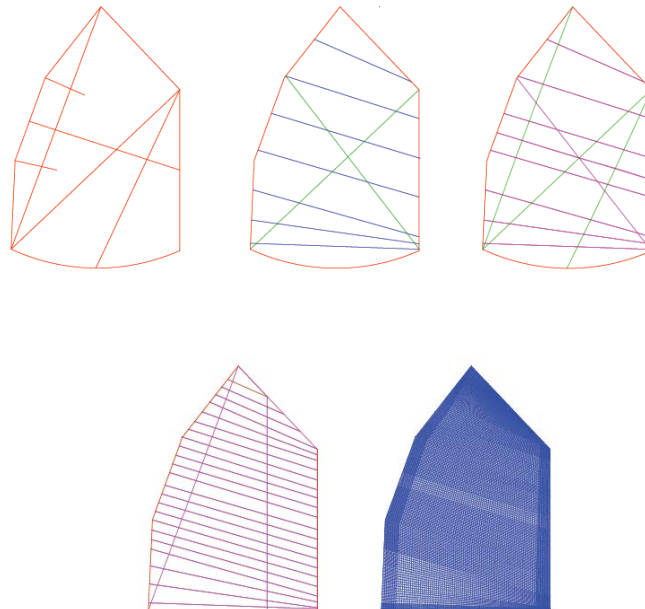


Figura 39. Evolució del croquis en la modelització d'una vela

El modelat s'ha realitzat amb el programa Autodesk AutoCAD i seguidament s'ha perfeccionat amb el programa Inventor. Per tal de definir la superfície com a model sòlid s'ha donat un gruix de 2 mm uniforme al llarg de tota la vela. Les Figures 40 i 41 mostren diferents vistes de la vela orbitant-la al voltant de l'eix Y per tal d'apreciar la geometria en tres dimensions. El costat de color blau representa la cara de sotavent mentre que el de color marró la cara de sobrevent.

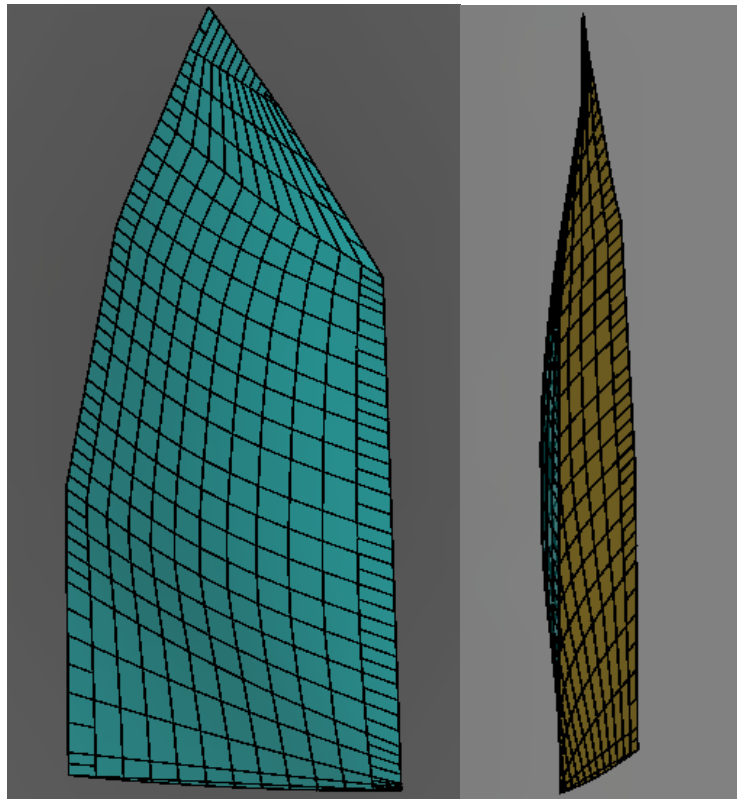


Figura 40. Vistes d'una vela en tres dimensions observades des del gràtil

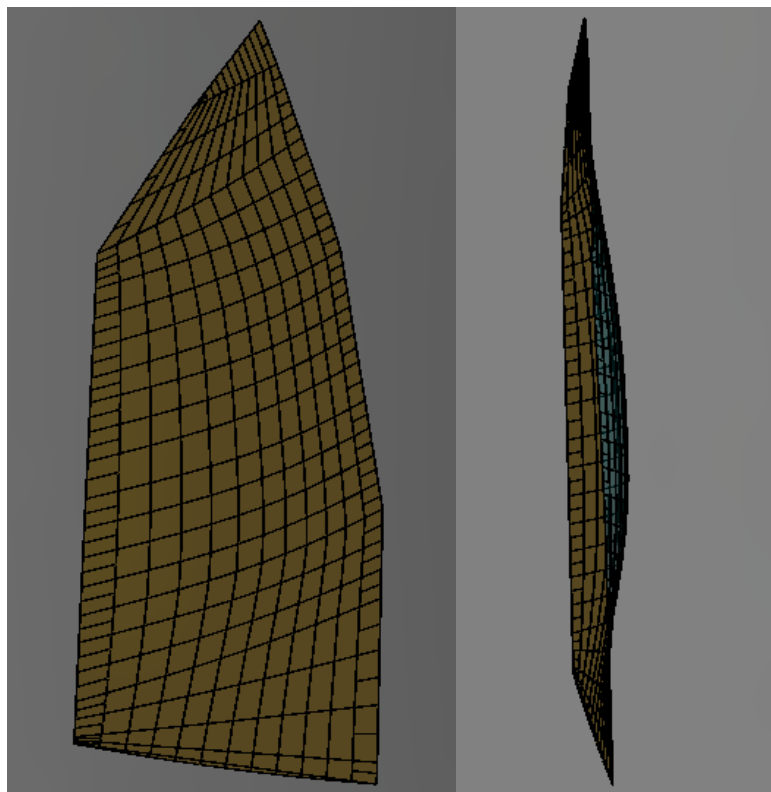


Figura 41. Vistes d'una vela en tres dimensions observada des de la baluma

Un cop exposats tots els criteris emprats per a la modelització de les veles, la Taula 2 defineix numèricament la geometria de cada model.

		VELA 1	VELA 2	VELA 3
Gràtil	Distància (mm)	1730	1730	1730
	Allunament (mm)	10	10	10
	Posició allunament (%)	50	50	50
Pujament	Distància (mm)	1808	1813	1820
	Allunament (mm)	10	15	20
	Posició allunament (%)	50	50	50
Baluma	Distància (mm)	2780	2790	2800
	Allunament (mm)	300	310	315
	Posició allunament (%)	50	50	50
Perxa	Distància (mm)	1220	1230	1240
	Allunament (mm)	0	0	0
	Posició allunament (%)	0	0	0
Sobre gràtil	Màxima profunditat (%)	5	5	6
	Posicionament (%)	34	34	34
Centre gràtil	Màxima profunditat (%)	8	8	9
	Posicionament (%)	34	34	34
Sota gràtil	Màxima profunditat (%)	2	2	3
	Posicionament (%)	34	34	34
Àrea (m ²)		3,75	3,79	3,83
Diagonal (mm)		2504	2509	2517
Angle twist (°)		5	5	5

Taula 2. Paràmetres de definició dels 3 models de vela

A la Taula 2 es pot observar els criteris seguits per tal de diferenciar els 3 models de vela. La vela 1 queda definida per un contorn per sota dels valors establerts pel Reglament de Classe. Comparativament, la vela 2 és geomètricament més gran. Tenint en compte que la bossa queda definida per valors percentuals i que la vela 1 i la vela 2 mantenen els mateixos percentatges de profunditat, la vela 1 serà més petita que la 2 de forma homogènia, és a dir, tant en dimensionat de contorn com en bossa. D'altra banda, la vela 3 és geomètricament més gran que 1 i 2 i està basada en els valors límit de dimensionament definits pel Reglament de Classe. A més a més, la profunditat no és proporcional a 1 i 2 i queda definida per uns percentatges que basats en l'experiència es podrien denominar com a valors límit.

Cal puntualitzar que en termes de posicionament dels valors donats, s'ha mantingut els mateixos pels tres models, així com l'angle del twist. Aquest fet, en primer lloc, es basa en un

raonament de coneixement experimental. Al principi del capítol, s'anomenava que al llarg de la història i fins avui en dia el principi de disseny de les veles rau en la intuïció i en l'experiència. És per aquest motiu que s'ha optat per mantenir els paràmetres de posicionament. Estan basats en el coneixement empíric i en l'observació del funcionament d'altres veles. No tindria sentit, doncs, provar una variació si es té la certesa que són els adequats. D'altra banda, s'ha optat per aquesta mesura per no introduir massa variables a l'hora de fer la comparativa, ja que d'aquesta manera seria molt difícil analitzar-les de manera independent i fer la relació causa-efecte.

4.3 Simulació de tres models de vela

Un cop definida la geometria de cada vela, aquestes s'han importat dins el programa CFD Ansys amb el qual s'ha definit totes les condicions que engloben el pre-procés i s'ha obtingut uns resultats que posteriorment s'analitzen.

Per tal d'efectuar l'anàlisi, el CFD té un procés pautat a seguir.

1. Importació de la geometria dins el programa CFD.
2. Definició d'un "envoltori" equivalent al que s'anomena túnel de vent.
3. Subtracció de la geometria dins l'envoltori de contorn.
4. Generació d'una malla.
5. CFD software Fluent, implementació.
6. Definició de les condicions de contorn i informació referent al fluïd. Entrada i sortida del vent, densitat, viscositat, temperatura, velocitat, materials, etc. Si s'especifiquen massa condicions, no hi haurà solució. Si se'n especifiquen poques es poden obtenir múltiples solucions no acotades.
7. Discretització del temps i l'espai, consisteix en convertir les equacions diferencials governants en un sistema d'equacions algebraïques.
8. Simulació d'execució, sol·lució iterativa.
9. Post-procés, visualització i anàlisi de dades.
10. Verificació, validació del model o retocs.

A continuació, es detalla el procés seguit i les condicions implementades per a cada model de vela.

4.3.1 Pre-procés

El primer pas és la importació de la geometria dins el banc de treball del software utilitzat, de manera que es pugui actuar sobre aquesta. Seguidament, es defineix el volum de control on es representarà el canal de flux, que consisteix en un prisma que deixa un metre de marge en cada costat de la vela. Tenint en compte les dimensions de les veles, estariem parlant d'un envoltori de dimensions aproximades 3815 x 4730 x 2150 mm. La Figura 42 presenta la geometria importada definida dins el volum de control.

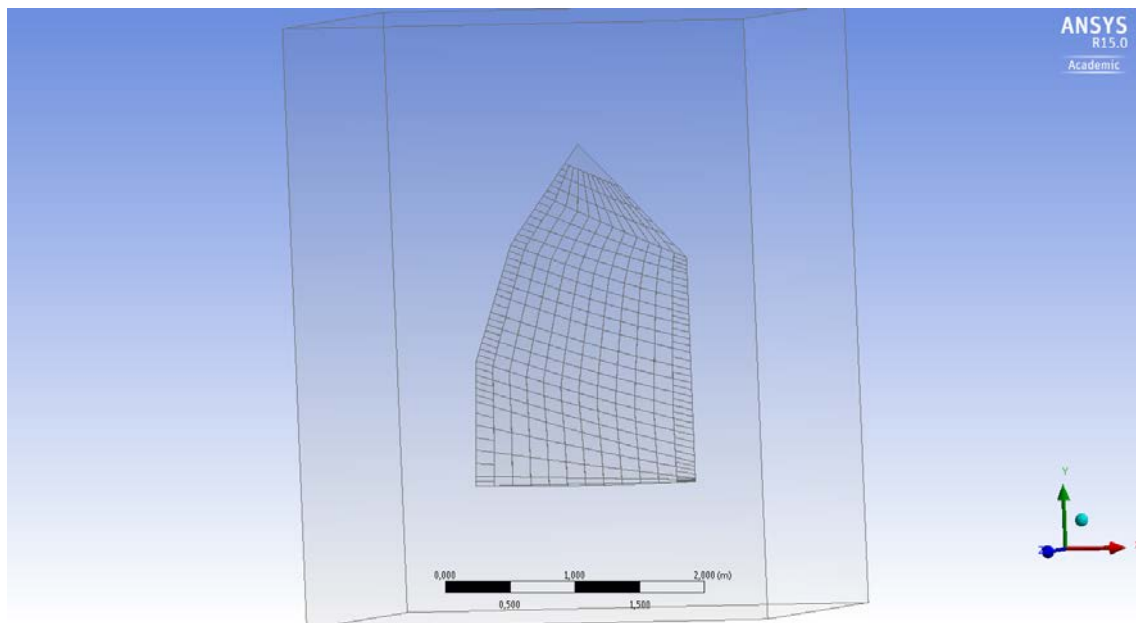


Figura 42. Vela importada a Ansys i definida dins un volum de control

A continuació, es defineix l'entrada i sortida del flux de vent. Es referencien dues cares de l'envoltori. En aquest cas, l'entrada d'aire es vincularà a la cara del canal de flux coincident amb el gràtil de la vela i, la sortida, a la cara del volum de control coincident amb la baluma de la vela. Amb aquestes condicions, ja es pot generar la malla sobre el volum de control. El CFD realitzarà les diferents iteracions de càlcul sobre aquesta. És clar que a major nombre d'elements emprats en el mallat, major precisió en els resultats obtindrem, però també serà major el temps de resolució i la memòria necessària. Serà bo intentar utilitzar un mallat suficientment bo com per a obtenir resultats correctes però sense ser un mallat excessivament dens, doncs aleshores el temps de resolució i la memòria necessària seran molt grans i, en canvi, la millora en la precisió dels resultats no aportarà res de nou. A la Figura 43 es visualitza el mallat. A l'hora de crear la malla, s'han considerat algunes característiques d'aquesta com que cada aresta de cel·la tingui una longitud màxima de 95 mm i un "centre de rellevància fi".

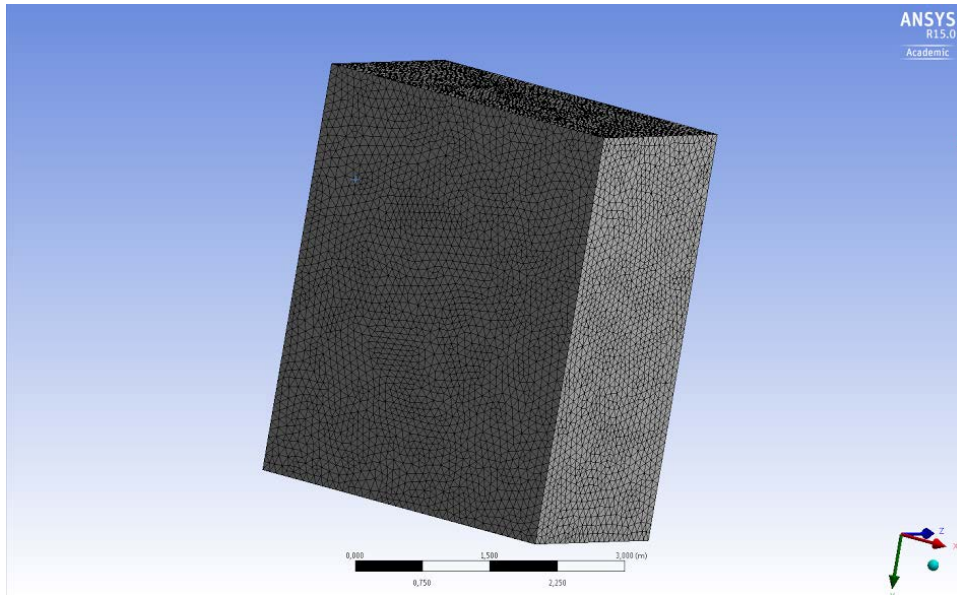


Figura 43. Mallat del volum de control

En aquest punt, es pot procedir a iniciar el software CFD Fluent i designar les següents condicions de contorn sobre fluid:

- a) Model k-epsilon (2 equacions) $C_{\mu} = 0.09$; $C1\text{-Epsilon} = 1.44$; $C2\text{-Epsilon} = 1.92$
- b) Es restringeix el moviment en totes les direccions de les superfícies que defineixen els contorns del fluid.
- c) S'assigna el valor i direcció de la velocitat del vent a la cara d'entrada.

Per a cada model de vela s'ha realitzat la simulació amb 3 velocitats de vent diferents i amb un angle d'atac de 20° . Es pren aquest valor d'angle perquè, com s'ha exposat anteriorment, en aquest tipus de navegació la sustentació és la responsable principal de generar la força resultant en la vela i, per tant, és molt útil estudiar el fenomen de les circulacions al voltant d'aquesta. Els valors de vent que s'han agafat són 6, 11 i 20 nusos (3.08, 5.65 i 10,29 m/s). La raó d'agafar aquests valors és que, generalment, amb menys de 6 nusos no es realitza cap regata ja que és un vent molt fluix i les embarcacions no rendeixen. La velocitat de 11 nusos és una condició de vent ideal prenent en compte que en el rang de pes dels patrons amb aquest tipus de vent poden mantenir l'embarcació equilibrada i navegar amb una bona velocitat d'avanç. El vent de 20 nusos es considera com a paràmetre límit. Per aquestes condicions es limita la navegació en regata ja que és un vent dur per tal que els patrons equilibrin el vaixell amb el seu pes i el material pateix uns esforços crítics.

- d) S'assigna una pressió relativa nul·la a la cara de sortida del volum de control, que serveix com a valor de referència pels càlculs posteriors.

El fluid utilitzat en la simulació serà aire a temperatura ambient, pel que les seves propietats seran:

$$\text{Densitat } (\rho) = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viscositat dinàmica } (\mu) = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

La Figura 44 mostra el volum d'anàlisi una vegada definides totes les condicions necessàries per a realitzar la simulació.

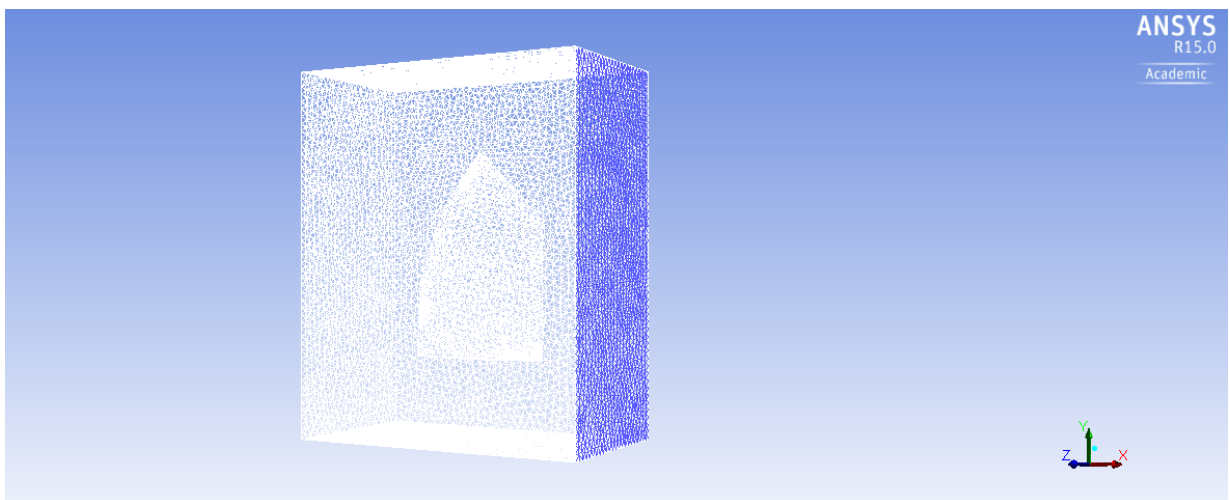


Figura 44. Volum de control preparat per realitzar la simulació CFD

Per últim, es determinen els monitors. És a dir, els paràmetres que es desitja visualitzar gràfica i numèricament. En aquest cas, s'estudiaran els camps fluidodinàmics de pressions i velocitats, així com la força resultant dels tres models de veles obtenint valors de la força d'avanç i la força de deriva o abatiment. També es determina la solució d'inicialització per l'entrada del vent i el nombre d'iteracions a l'hora de dur a terme el càlcul. Després de diverses proves, es conclou que per un nombre de 300 iteracions s'arriba a uns resultats fiables.

4.3.2 Post-procés

Un cop realitzat el pre-procés, es procedeix a la simulació i càlcul de resultats en funció dels paràmetres introduïts. Ansys Fluent dóna accés al a visualització de resultats mitjançant animacions, gràfics i resultats numèrics.

4.4 Anàlisi de resultats

4.4.1 Anàlisi qualitatiu

En primer lloc, puntualitzar que per tal de reafirmar i validar els resultats obtinguts amb el software Ansys Fluent també s'ha executat la simulació gràfica amb el CFD Autodesk Fluent .

Degut a la poca variació de dimensions, a l'hora de realitzar una valoració qualitativa es farà de forma genèrica pels tres models ja que les diferències en les figures gràfiques obtingudes són mínimes.

El primer que s'observa clarament al visualitzar els resultats de pressions sobre la vela és la presència de dues cares clarament diferenciades: la cara de sobrevent on les tonalitats vermelloses donen a entendre que es tracta d'una cara de pressió, i la cara de sotavent, amb tonalitats blavoses que denoten la presència de succions al llarg de tota la cara. Aquests resultats es mostren a la Figura 45.

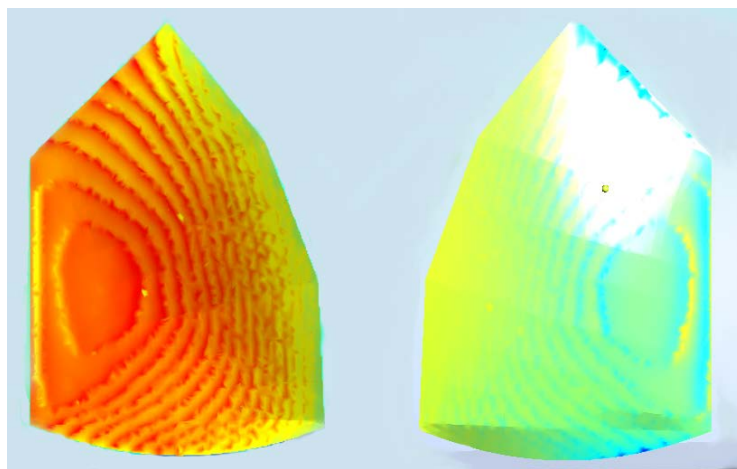


Figura 45. Distribució de pressions a la cara de pressió (esquerra) i depressió (dreta)

A la vista dels resultats anteriors, queda clar com la magnitud de la depressió a la cara de succió és superior a la magnitud de la pressió a sobre la cara de pressió. Així doncs, en una navegació en cenyida, la contribució de la depressió en la força resultat total és major que la contribució de la pressió.

Un altre punt important és la localització de la màxima pressió i la màxima succió a les cares corresponents. Es pot observar com a la cara de sobrevent la pressió és bastant uniforme en

tota la superfície exceptuant la baluma que representa la sortida del flux. Contràriament, la cara de sotavent de la vela presenta clarament un pic de succió pròxim al gràtil i en tota la seva alçada. Es pot observar com aquesta zona de major succió es desplaça cap a la baluma i s'allunya del gràtil. Aquest fet s'expressa a la Figura 46 on la gràfica mostra la uniformitat de pressió a la cara de sobrevent i la progressió d'aquesta a la cara de sotavent.

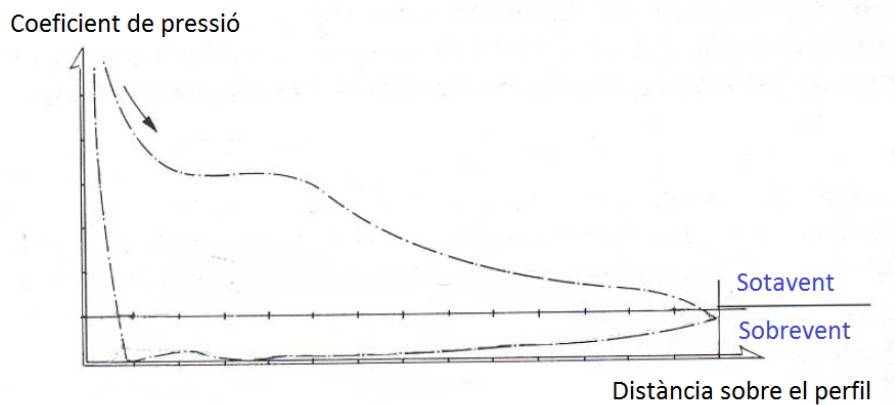


Figura 46. Coeficient de pressió sobre una vela

També es pot observar com tant al pujament com a la baluma les pressions es tornen molt properes a un valor nul ambdues cares de la vela. Això és un resultat que ja es podia esperar doncs en aquestes regions es posa en contacte el flux que circula per la cara de pressió amb el que circula per la cara de succió i, per tant, les pressions forçosament s'han d'igualar.

Per naturalitat, el fluid té tendència a anar de zones de pressió alta a zones amb pressió més baixa. Per tant, el fluid que circula per la cara de pressió tendirà a anar a buscar un dels contorns de la vela, pel que el flux de les seccions inferiors tendeix a desviar-se cap al pujament i el de les seccions superiors cap a la part superior de la baluma. Contràriament, el fluid que circula per la cara de succió de la vela, tindrà tendència a allunyar-se dels contorns, i per tant, el seu comportament serà el contrari a l'anterior, es a dir, tendirà a allunyar-se del pujament a la part inferior de la vela i de la baluma a la part superior.

La Figura 47 presenta la distribució de la pressió estàtica sobre el cos de la vela on es pot observar tornar a observar la concentració de pressió a la zona del gràtil on s'indica la principal zona de succió.

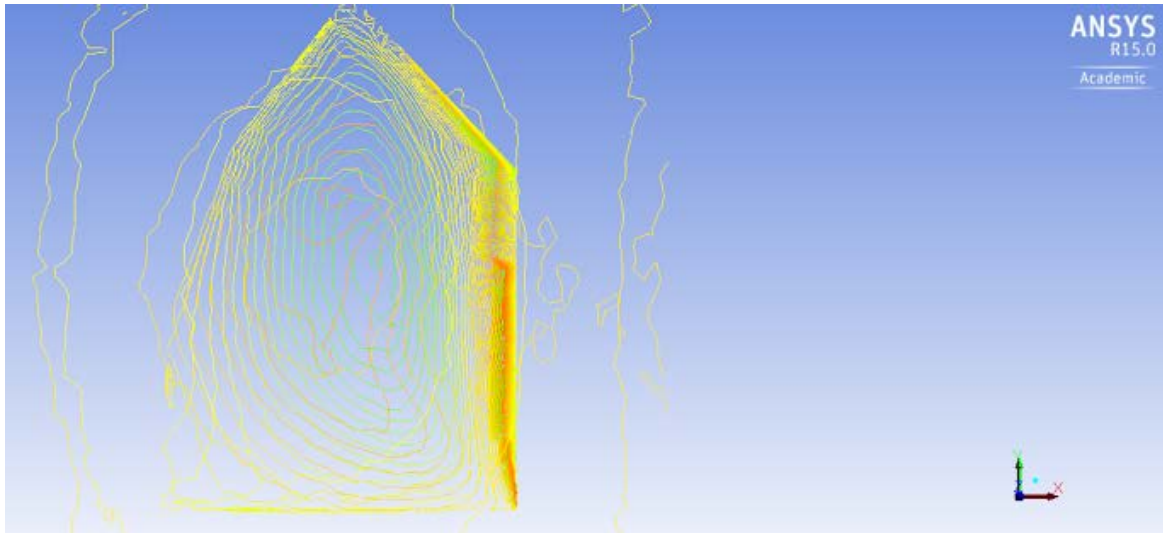


Figura 47. Distribució de pressió estàtica al voltant de la superfície vèlica

Seguidament, a la Figura 48 s'observa el mateix model de vela primerament sotmesa a una intensitat de vent de 6 nusos i, en el segon cas, a una intensitat de 20 nusos. Es pot veure clarament la diferència a la cara de pressió amb l'augment d'aquesta al llarg de tot el perfil vèlic. Al posterior capítol d'anàlisi quantitatiu s'observa aquest diferència de manera numèrica.

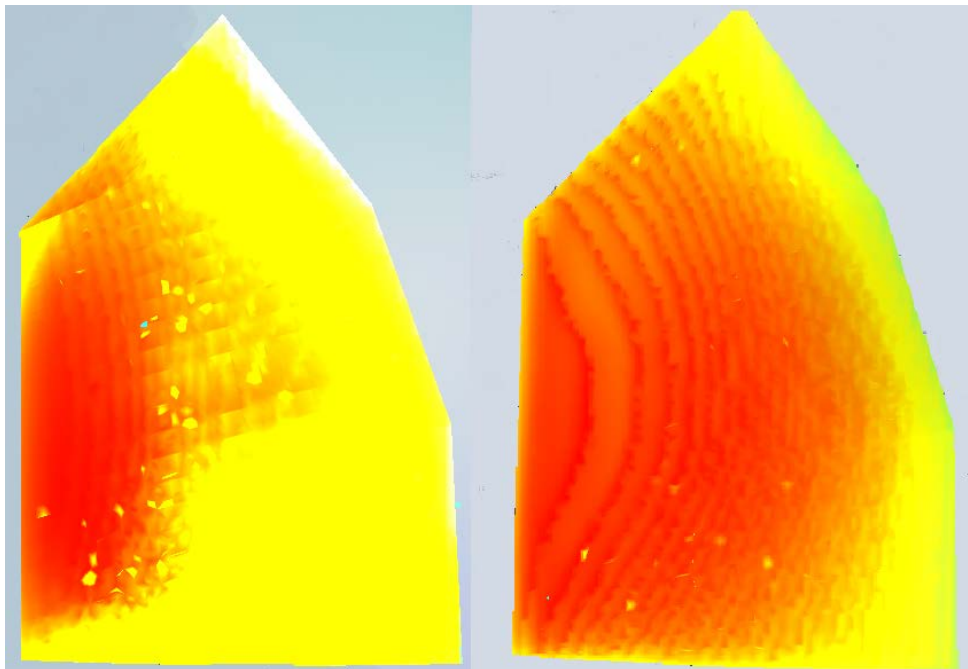


Figura 48. Cara de sobrevent a una intensitat de 6 i 20 nusos

4.4.2 Anàlisi quantitatiu

L'objectiu d'aquest anàlisi és determinar quin dels tres models de vela és més adequat pel patró de l'embarcació en funció del pes d'aquest. Aquesta relació és possible a partir del coneixement de les forces aerodinàmiques que es generen a cada vela per diferents intensitats de vent.

L'Optimist és una embarcació pensada per a patrons d'edats entre 7 i 14 anys. Amb aquestes bases, es coneix que el rang del possible pes del patró està entre 30 i 50 kg. Per tal de determinar la vela més adequada per a cada patró, els pesos s'agrupen en tres categories segons es descriu a la Taula 3.

Patró A	Patró B	Patró C
Fins a 35 kg	35-43 kg	Més de 43 kg

Taula 3. Classificació del patró en funció del pes

La simulació aerodinàmica d'ANSYS Fluent permet conèixer els valors de la força que proporciona la vela per a cada valor de velocitat del vent i l'angle d'atac. Tal com s'ha exposat als capítols anteriors s'ha considerat una intensitat del vent de 6, 11 i 20 nusos amb un angle d'atac constant de 20°. La Figura 49 il·lustra el procés d'obtenció dels valors de les forces aerodinàmiques.

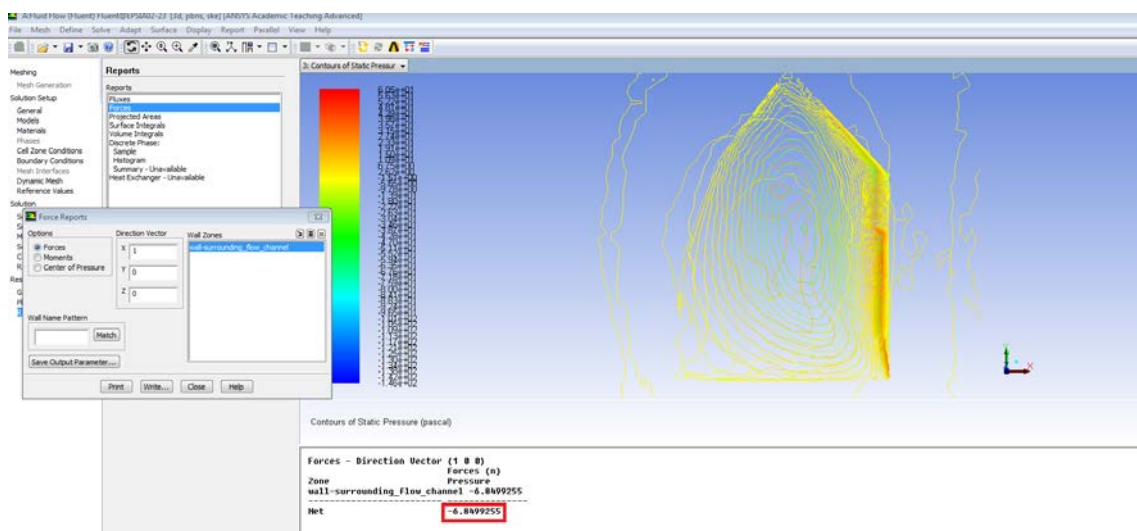


Figura 49. Captura d'imatge d'ANSYS Fluent

La Taula 4 detalla els resultats obtinguts en la simulació dels tres models del vela. Les forces obtingudes a l'eix X representen la força d'avanç (F_D), mentre que les obtingudes a l'eix Z representen les forces de deriva (F_H). Els valors obtinguts a l'eix Y són de l'ordre de 10^{-2} N i, per tant, negligibles.

	VELA 1		VELA 2		VELA 3	
	F_D (N)	F_H (N)	F_D (N)	F_H (N)	F_D (N)	F_H (N)
6 knts (3,08 m/s)	0,97	51,90	1,25	63,24	1,61	81,45
11 knts (5,65 m/s)	5,05	98,75	6,84	134,8	9,26	182,45
20 knts (10,29 m/s)	8,65	147,91	9,76	165,64	13,70	251,7

Taula 4. Valors de les forces obtingudes amb la simulació CFD

Observant la Taula 4, el primer fet a remarcar és la diferència entre les magnituds de les forces aerodinàmiques de deriva respecte els valors de les forces d'avanç. En un principi es podria considerar un error el en procés de simulació, però en realitat, és un fet normal i lògic. De fet, una embarcació tipus Optimist que no disposés d'una orsa per contrarestar la força de deriva, es desplaçaria en la direcció lateral en comptes de fer l'avanç. Per aquest motiu, és fonamental portar l'orsa totalment calada en els rumbos tancats on la vela treballa sota succió. A més a més, el perfil hidrodinàmic del casc de l'embarcació està pensat per oposar resistència al desplaçament lateral i, en canvi, afavorir l'avanç en la mateixa direcció de l'eix de crugia. D'aquesta manera, per valors d'una força d'avanç de l'ordre de menys de 10 N, s'aconsegueix un desplaçament favorable.

A partir dels valors de la força de deriva (F_H) obtinguts es determina quin és el pes ideal del patró per tal d'equilibrar l'embarcació en cada cas. La metodologia seguida es basa en el principi d'interacció de les forces aerodinàmiques amb les hidrodinàmiques exposat en el capítol 2.5.2. Existeixen dos moments de força que condicionen l'estabilitat de l'embarcació. Per una banda, el parell escorant, efecte de la força de deriva sobre el centre vàlic (CV) i la seva reacció en el CLR. Per altre banda, es considera el parell redreçant determinat per la massa del patró concentrada en el seu centre de gravetat (CG) i la distància a la que es projecti de la perpendicular al pla del centre de carena.

La Figura 50 mostra les forces que intervien i els seus punts d'aplicació per tal d'equilibrar el moment d'escora amb el moment redreçant.

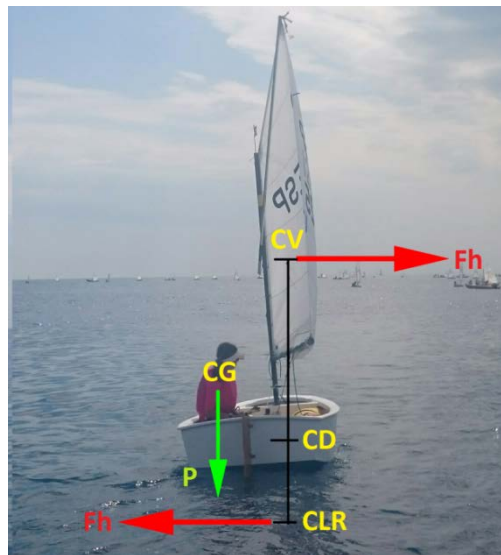


Figura 50. Detall de les forces i punts d'aplicació en imatge real

Per tal de fer l'equilibri de moments primer cal determinar la distància dels diferents punts respecte el punt de referència, és a dir, el centre de deriva (CD). Segons dades de fabricants, s'han considerat les distàncies representades a la Figura 51 i que tenen els següents valors numèrics:

- a) $x_1 = 1340 \text{ mm}$
- b) $x_2 = 320 \text{ mm}$
- c) $x_3 = 600 \text{ mm}$

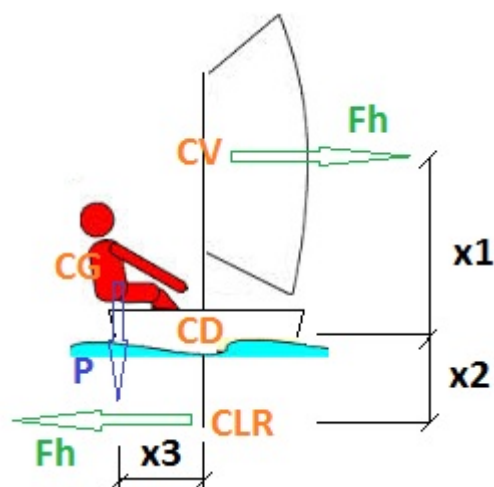


Figura 51. Esquema de forces i distàncies respecte CD

Per tal que l'embarcació navegui estable, el sumatori de moments respecte CD ha de ser igual a 0. L'Equació 5 representa l'equilibri de moments.

$$\sum M_{CD} = 0 \rightarrow (F_H \cdot x_1 + F_H \cdot x_2) - (P \cdot x_1) = 0 \quad (\text{Eq.5})$$

A l'Annex C es detallen els càlculs realitzats per als diferents valors de força. Seguidament, s'exposa la Taula 5 on es mostren els valors de la massa (kg) que equilibra l'embarcació en cada cas i que es considera, doncs, el pes ideal per a cada situació de vent en els models donats.

	PES IDEAL VELA 1 (kg)	PES IDEAL VELA 2 (kg)	PES IDEAL VELA 3 (kg)
6 knts (3,08 m/s)	14,64	17,84	22,97
11 knts (5,65 m/s)	27,85	38,02	51,46
20 knts (10,29 m/s)	41,71	46,71	70,99

Taula 5. Resultats dels pesos ideals en cada cas

En primer lloc, s'observa que pels tres models, el rang de pesos obtingut per les diferents intensitats de vent és força gran. Al model 1 i 2 la diferència és de 27 i 28 kg respectivament i al model 3 la diferència està a 48 kg, un valor extrem. Aquesta diferència en el rang de pesos remarcable al model 3 pot ser deguda a que el tercer model està conformat amb un perfil molt profund, segurament excessiu, que per baixes intensitats de vent no és tan notable però que per a un vent considerable genera una gran força de deriva. Evidentment, cap patró d'Optimist té un pes de l'ordre de 70 kg i, per tant, seria molt difícil mantenir l'embarcació estable en aquest cas. La Figura 52 és un gràfic que representa l'increment del pes ideal en funció de la intensitat del vent per a cada model de vela.

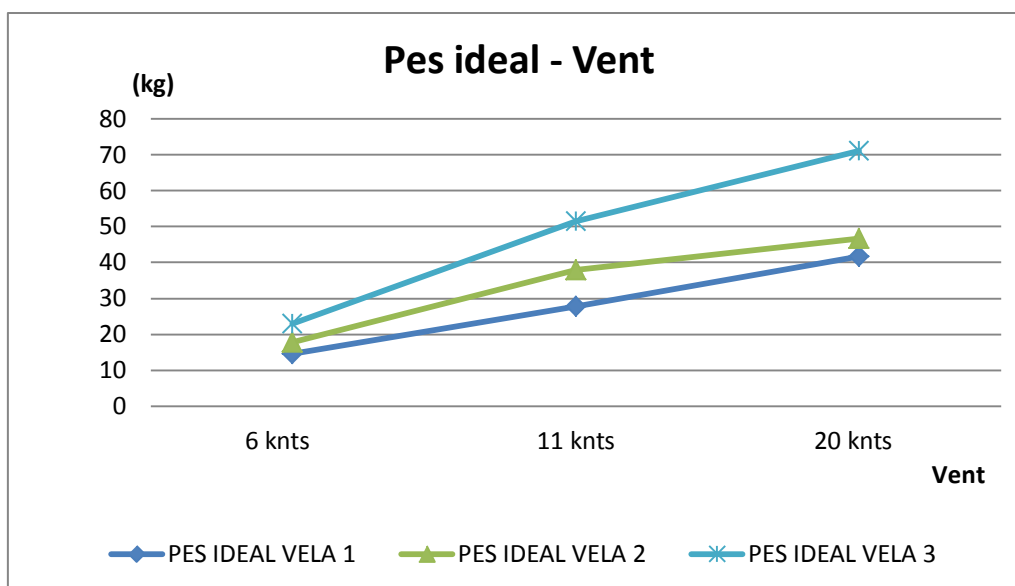


Figura 52. Gràfic d'evolució del pes ideal en funció del vent

També s'observa que els pesos del model 1 i 2 són equiparables de manera proporcional. Aquest fet pot ser degut a que a l'hora de dissenyar les dos velas s'ha de fet de manera proporcional tant geomètricament com en quan a la profunditat del perfil. Ara bé, pel cas d'una intensitat de 11 nusos, es requereix molt més pes al model 2 que al model 1. Normalment, les velas comencen a rendir de manera plena a partir dels 8-9 nusos i l'embarcació comença a navegar de manera "alegre" exigint cert contrapès per part del patró. Tenint en compte aquesta dada, sembla que el model 2 fa aquest pas a una intensitat de vent de propera als 11 nusos mentre que el model 1 ho fa més tard. Per a una intensitat de 20 nusos l'exigència de pes entre els dos models torna a ser proporcional.

Tenint en compte les dades, les mitjanes de pes necessari per a cada vela són les següents:

- a) Vela 1: 28 kg
- b) Vela 2: 34,2 kg
- c) Vela 3: 48,5 kg

Amb aquestes mitjanes s'observa la correlació amb els rangs de pesos descrits a principi del capítol. El model 1 seria adient per el Patró A de fins a 35 kg. El model 2 seria l'adient pel Patró B entre 35 i 43 kg i el model 3 per el Patró C amb un pes de més de 43 kg.

Tot i aquest classificació, es considera que el model més ben aconseguit i òptim és el segon.

El model 1 reclama un pes massa petit en intensitats baixes de vent. Qualsevol patró sempre pesarà més de 14 kg. Al model 2 continua sent un pes baix però es pot jugar amb el braç de palanca que genera la posició del patró. Si el patró seu més al centre de l'embarcació, cosa factible, es reduirà el moment adreçant. Per exemple, amb una distància del patró respecte el centre de deriva (CD) reduïda fins a 40 cm (el patró seu 20 cm més al centre de l'embarcació que a la hipòtesi inicial) la demandà de pes resultarà de 26,45 kg. Aquesta és una dada molt important ja que es pot concloure que amb un patró de al voltant de 30 kg el model 2 també és vàlid adaptant la posició d'aquest dins l'embarcació.

El model 3 es descarta per l'alta demanda de pes per una intensitat de vent de 20 nusos. De la mateixa manera que en el cas de poca intensitat de vent el patró pot adaptar la seva posició desplaçant-se més a prop del centre de deriva, per intensitats altes també ho pot fer a la inversa. Quan el vent bufa fort, els patrons desplacen el seu cos cap a fora per tal de aconseguir més braç de palanca i equilibrar l'embarcació. Això s'aconsegueix posant els peus sota les cintes i fent el que es coneix com a "penjar-se". La Figura 53 mostra un exemple de patró penjat per equilibrar l'Optimist.



Figura 53. Patró penjat fent més braç de palanca

D'aquesta manera, si es calcula el pes ideal del model de vela 3 ampliant el braç de palanca inicial de 60 cm fins a 80 cm el resultat és de 53kg. Continua sent un valor excessiu ja que és un pes poc habitual per a nens de fins a 14 anys. D'altre banda, si s'aplica el mateix criteri per al model 2 s'obté un pes ideal en intensitats de 20 nusos de 35 kg. Amb aquesta dada, es conclou que el model 2 és el disseny més versàtil dels tres i vàlid per a patrons mitjans. Tots els càlculs efectuats s'adjunten a l'Annex C.

Com a elecció entre els 3 models dissenyats, es procedeix a confeccionar de manera pràctica el model de vela número 2.

5. CONSTRUCCIÓ D'UNA VELA

5.1 Disseny

Per tal d'efectuar la construcció, primerament s'ha passat el modelat 3D a una superfície plana dividida a panys. L'ensamblatge dels panys és el que genera la geometria 3D del disseny efectuat. Actualment es disposa de diversos estils de panyat: *crosscut*, radial, semi-radial i tri-radial. En aquest cas s'ha optat per un disseny *crosscut* ja que és el que disposa de més polivalència de trimat i genera menys errors de construcció.

A més a més, s'ha hagut de contemplar la necessitat i obligació reglamentària d'inserció d'una finestra transparent que faciliti la visió del camp de regates. Pel que fa a les dimensions i posició d'aquesta, s'ha seguit la normativa adjunta a l'Annex C.

La vela es descomposa en 7 panys horitzontals o *crosscut*. Per fer dita descomposició, s'ha hagut de tenir en compte la creació de corbes oposades que pel fet d'unir-se creen la profunditat desitjada.

Un cop acabada la descomposició, s'han previst un conjunt de reforços tèxtils allotjats en cadascun dels punys de la vela per tal d'augmentar la resistència als esforços en aquests punts.

Finalment, s'ha contemplat l'opció de numerar els panys i reforços en ordre ascendent per tal de facilitar la posterior confecció. A més a més, s'han dibuixat unes línies de guiat al perímetre de cadascun dels panys que han estat les encarregades de delimitar la zona d'encavalcament de les unions. La Figura 54 mostra un croquis de la vela un cop confeccionada amb dits paràmetres.

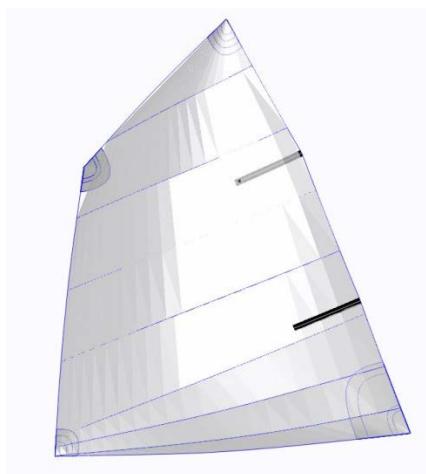


Figura 54. Vela amb representació dels panys i reforços

5.2 Procés de construcció

Per dur a terme una correcta execució en la construcció de la vela, s'han considerat diversos factors com la maquinària necessària, els materials, les tècniques de confecció i les eines especialitzades.

A continuació, es detalla una relació del material utilitzat en la construcció de la vela:

- Tisores aptes per a teixits tècnics
- Cinta d'adhesió de doble cara
- Punxons de treball
- Serjants de taula
- Màquina de cosir de triple puntada
- Fil de cosir nàutic
- Fil de cera
- Sabres d'Optimist
- Cap de *dyneema*
- Escaire metàl·lic i mesurat
- Regle metàl·lic de mínim dos metres i mesurat
- Ullets de dues mides
- Premsa d'una tona de pressió
- Rodet de premsat manual
- Fil de llana
- Descomposició de la vela en panys
- Números de identificació de *Dakron*
Insígnia

La primera etapa de la construcció és el plotejat. És una etapa altament tècnica que requereix de mans especialitzades per a manipular maquinària d'aquestes característiques. El plòter escollit per tallar els panys de la vela és de la marca *ZUND* (empresa líder en plòters per a veleries) i té un cost d'adquisició d'aproximadament 140 mil euros. Primerament, cal configurar el plòter per assumir les dimensions i característiques del material a tallar. El teixit de la vela requereix d'una fulla de tall molt afilada i amb capacitat de pivotar sense esgarrar. Un cop col·locat el capçal amb la punta adient, s'estira el material escollit sobre la taula de tall i es subjecta amb tensió mitjançant els suports de la pròpia taula. La Figura 55 mostra una imatge del model de plòter emprat.



Figura 55. Plòter ZUND

Seguidament, s'introdueix l'arxiu AutoCAD en format *.dxf* amb la distribució dels panys sobre el teixit al sistema informàtic del plòter. El plànol número 16 es refereix a dit arxiu. Es distribueix els panys de la vela tenint en compte que el teixit base té una amplada màxima de 1 metre. Evidentment, s'intenta optimitzar la llargada d'aquest per tal de no assumir un cost innecessari de material tèxtil. El plòter té una precisió absoluta i per aquest motiu s'ha decidit aprofitar al màxim els marges sense córrer cap risc.

Un cop s'ha disposat tot de manera correcta, el plòter comença a tallar a una velocitat impressionant. El temps emprat per a tallar tots els panys i reforços és d'aproximadament 30 segons. A més a més, a la vegada que talla, marca amb una línia de guia de color blau els

marges on s'han d'enganxar els diferents panys entre si i on posteriorment es farà el cosit amb sistema de triple puntada. Aquests marges es poden observar al plànol número 16.

Arribat aquest moment, cal mencionar un proper pas que seria necessari però que en la confecció del model vela 2 no s'ha dut a terme. Caldria realitzar el tallat a plòter del número de vela amb material *Dakron* Insígnia (material autoadhesiu). Aquest pas no s'ha efectuat perquè en el moment de la confecció de la vela no es disposava d'un número assignat per tal d'identificar-la en l'àmbit de la competició en regates. La Figura 56 mostra una imatge dels panys de vela recent tallats i disposats sobre la taula de treball.



Figura 56. Panys de vela tallats

Un cop es tenen els diferents panys i reforços tallats i marcats, es procedeix a enganxar mitjançant la cinta de doble cara adhesiva tots els panys de la vela.

Aquesta fase del procés de construcció és considerada la part més exigent i minuciosa ja que qualsevol error mil·limètric en el procés d'enganxat farà variar les corbes i profunditats de la vela, produint així, una vela diferida respecte el model dissenyat i simulat.

Per poder dur a terme la unió dels panys correcta, es necessita l'ajuda d'un rodet premsador i molta paciència, ja que els panys contigus tenen corbes negatives i oposades per tal de crear la profunditat desitjada. La tècnica consisteix, primerament, en posar a tots els marges marcats prèviament amb el plòter la cinta adhesiva de doble cara i aplicar calor i pressió amb el rodet premsador. Aquesta acció és necessària per tal que la cinta de doble cara faci efecte i solidifiqui. Val a dir que per un correcte muntatge de la vela cal començar a enganxar els panys de baix a dalt i sempre unificar-los per la banda d'estribord. La Figura 57 mostra una imatge de la unió dels panys.



Figura 57. Unió dels panys de la vela

El següent pas consisteix en col·locar les cintes de vora al gràtil, baluma, pujament i perxa. Aquestes cintes de reforç tenen una amplada màxima de 1,5 cm i són les encarregades de suportar la tensió de la vela per mitjà dels ullets (al pujament i al gràtil) i per la perxa (a la baluma). El procediment correcte de col·locació és, bàsicament, el mateix que el d'unió de panys. El pujament i el gràtil es recorren amb cinta adhesiva de doble cara i s'enganxa la cinta de vora al damunt aplicant pressió i calor amb el rodet prensador. Pel que fa a la baluma i a la perxa, s'ha de tenir en compte que necessiten pre-tensió. En el cas de la cinta de cora que es posa a la baluma se li dóna uns mil·límetres de corba negativa i d'aquesta manera s'evita l'efecte de flameig. A la perxa s'ha d'introduir un cap de *dyneema* dins la cinta de vora i, posteriorment, cosir els extrems amb fil de cera. Es considera molt important una bona pre-tensió del cap, ja que és una zona crítica en quan a esforç de tensió.

Un cop es tenen totes les vores col·locades i premsades, es procedeix a col·locar reforços a totes els punys i a ubicar les dues fundes on s'allotjaran els sabres encarregats de suportar la forma de la vela. Aquest procés és senzill i ràpid ja que només s'ha d'enganxar els reforços i les fundes del sabre fins els límits indicats per l'organisme competent.

Arribat aquest punt, es procedeix a cosir totes les unions entre panys, cintes de vora, reforços i fundes de sabre. És important la cura d'aquest procés, ja que és fàcil cosir zones no necessàries i sortir de les línies indicades. Totes les costures de la vela ha de ser de triple puntada menys les fundes dels sabres que han de ser cosides linealment.

Un cop es té la vela íntegrament cosida, es procedeix a col·locar tots els ullets a les zones on marca el Reglament de Classe. Per aquest procés és necessària una premsa per foradar el material i, posteriorment, reblar l'ullet de material inoxidable.

Seguidament es cobreix l'espai que s'ha dedicat a la finestra i que servirà al patró per tenir una millor visió del camp de regates. La finestra està feta d'un material de *naylar* transparent. Aquesta tasca és senzilla i ràpida, ja que només s'ha d'enganxar i cosir el material per sobre la línia indicada i, posteriorment, retallar el material sobrant.

Per finalitzar la vela, s'inclouen alguns detalls finals. S'introdueixen els sabres dins les fundes, es col·loquen les llanetes a la zona del gràtil i, finalment, s'enganxen els números d'identificació dins la zona indicada. La Figura 58 mostra una imatge de la vela recent confeccionada a falta de ultimar detalls.



Figura 58. Unió dels panys de la vela

6. ANÀLISI EXPERIMENTAL DE LA VELA

Després de dur a terme el procés de confecció del model 2 de vela, aquest s'ha sotmès a un anàlisi experimental per tal de valorar l'assoliment dels objectius i el funcionament.

Primerament, es sotmet a un anàlisi estàtic que inclou una valoració dels materials i acabats, així com el correcte funcionament i compliment de la normativa respecte el reglament de classe que dicta la *International Optimist Dinghy Association*.

Posteriorment, s'ha posat en pràctica el funcionament de la vela en termes de navegació sotmetent-la a diferents condicions meteorològiques.

6.1 Anàlisi estàtic

Analitzant la vela de manera estàtica, es pot corroborar que aconsegueix totes les mesures i formes que exigeix l'organisme competent. Val a dir que després de la comprovació feta a títol personal, s'ha sotmès a la validació per part d'un "medidor" titulat per la Federació Catalana de Vela. La medició oficial valida la vela per navegar en la competició nacional i internacional, cosa que sense el certificat no seria possible a nivell de compliment de normatives. A l'Annex D s'adjunta el formulari de medició degudament omplert i firmat per la persona autoritzada a donar aquest servei. L'obtenció del certificat oficial de medició valida el model de vela confeccionat com a prototip vàlid.

Materials

Tots els teixits emprats durant la fabricació de la vela pertanyen a la família *Fibercon-Competition* (Dakron) de *Contender Sailcloth*. En confirmar que els panys estan confeccionats amb un *Polykote Ripstop* amb un pes de 2,99 OZ amb un tram de 125x125mm (ordit i trama). Els reforços són de la família *Fibercon-competition* amb pes superior de 3,8 OZ amb un tram de 150x250mm (ordit i trama respectivament).

Repecte l'apartat de material no tèxtil es valida:

- Sabres de la marca *Bainbridge* model *Aquabatten pro* (Optimist)
- Ullets de la marca *Rutgerson* de material inoxidable
- Números de la vela de *Drakorn Insignia*

- Cap pretensat a la contra-baluma de *Dyneema*

Es conclou que tots els materials emprats són correctes. La única valoració negativa recau en el tall dels números de vela. Com a resultat d'haver fet un tall d'aquests manual, la geometria queda imprecisa. No és un fet significatiu a nivell de rendiment de la vela. Però cal prendre nota com a anàlisi d'acabats. S'hauria obtingut un millor resultat estètic si el tall dels números s'hagués dut a terme amb plotter. La Figura 59 mostra una imatge referent a aquest punt. S'observa clarament a la part alta de la vela on hi ha disposat el símbol de la Classe Optimist.



Figura 59. Imprecisió en el tall de la identificació

Forma

Per tal de comprovar que la vela ha quedat ben enganxada i posteriorment cosida, es punxa sobre una superfície totalment plana. D'aquesta manera s'aconsegueix eliminar per complet la pròpia bossa de la vela i es pot analitzar la triple puntada i marges d'enganxat. Un cop comprovat que no s'ha patit cap desviació important en el cosit, es procedeix a donar tensió en tots els panys per tal de comprovar que sota una forta acció de pressió del vent la vela no es deformarà de manera negativa. S'observa que no pateix cap arruga contraproduent i es descarta qualsevol error en l'orientació en la qual s'ha col·locat la trama i l'ordit.

Finalment, es procedeix a comprovar la col·locació dels ullets. Es valida que tots hagin quedat ben premats i que les dues cares de la peça hagin quedat ben encaixades. Un cop fetes totes

les validacions es pot assegurar que la vela es cenyirà a la forma projectada prèviament en la fase de disseny.

Mesures

Es pren un regle mesurat i es procedeix a medir totes les diagonals, dimensions generals, distàncies entre ullets i col·locació i espaiat entre números. Un cop comprovades totes les mesures, finalment, es pot afirmar que la vela s'ajusta al reglament de la IODA en referència a les formes, dimensions i materials. El model confeccionat és tant vàlid com el de qualsevol veleria de renom per competir en tota regata i competició d'àmbit internacional.

6.2 Anàlisi dinàmic

Per tal de corroborar que el disseny és competitiu s'ha sotmès la vela a diferents situacions subjectes a diferents condicions meteorològiques . La prova final s'ha dut a terme utilitzant el model en l'àmbit competitiu, és a dir, durant una regata.

Situació A

Es prova la vela aparellada en un joc de pals d'Optimist i es surt a navegar en unes condicions d'onada feble i un vent flux (4-7) nusos. El patró en qüestió ronda un pes de 35 kg.

Teòricament en aquestes condicions, es necessita una vela de perfil bastant pla, sense una gran bossa concentrada al centre vèlic (gràtil), ja que al no tenir pràcticament onada no és necessària la potència a la proa per contrarestar la força de les onades.

Un cop a l'aigua, ràpidament s'observen les bondats del disseny pel que fa a possibilitats de trimatge. Es caça el pujament de la vela i automàticament s'observa que la bossa intermèdia que s'havia dissenyat desapareix pràcticament en la seva totalitat. D'aquesta manera es corrobora que la vela és polivalent i apte per a patrons mitjans amb condicions suaus de vent i onada. La Figura 60 mostra una imatge de la vela durant el procés d'anàlisi en dites condicions.



Figura 60. Anàlisi experimental de la vela

Situació B

Es surt a navegar amb les següents condicions: onada picada i curta amb un vent d'intensitat al voltant de 12-13 nusos.

Teòricament en les condicions descrites, es necessitaria una vela amb una bona bossa a la proa per aconseguir potència per tal de poder avançar tot i l'onada curta i picada (es l'onada més difícil de navegar i que requereix més potencial).

S'observa que tot i tenir la vela trimada al màxim per afavorir el rendiment en les condicions en les quals es troba, el model de vela confeccionada queda una mica just en quan a potència. Probablement el model 3 dissenyat donaria millors prestacions en aquest cas ja que té més bossa. S'intenta donar més volum al perfil ajustant el pujament per ampliar la bossa. No resulta eficient ja que es generen unes arrugues contraproductes.

En aquestes condicions, un patró que navegui amb una vela més grossa, tot i ser més pesat té un millor rendiment a l'aigua.

Situació C

Es surt a navegar amb les següents condicions: mar agitada i onada llarga i una intensitat de vent al voltant dels 18 nusos.

En aquestes situacions de fort vent i onada molt llarga, teòricament es necessita una vela amb una bona bossa a la proa per tenir potència però a l'hora una vela que permeti descarregar sobrepressió per la baluma.

Després de navegar una estona, s'observa que una vela mitjana com la confeccionada es pot considerar ideal per a la gran majoria de patrons. Permet mantenir una bona bossa a la proa amb la consegüent potència que aquest fet aporta, però a la vegada permet obrir molt la baluma i descarregar tota la sobrepressió necessària.

Finalment, la Figura 61 és una imatge del Campionat de Catalunya de Classe Optimist celebrat al Club Vela Blanes el maig de 2015, on es va posar per primera vegada a prova la vela en format regata. S'observa que en comparació a les demés veles, el model confeccionat és perfectament equiparable tant en qualitat i acabats, com en rendiment.



Figura 61. Vela ESP-125 emprada en regata

7. RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost d'execució d'aquest estudi, juntament amb els costos de fabricació del producte incloses les despeses de benefici industrial i l'IVA serà de :

CINC MIL DOS-CENTS NORANTA SIS AMB QUARANTA SIS CÈNTIMS (5296,46 Euros)

8. CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el projecte, es pot afirmar que s'ha complert l'objectiu establert ja que s'ha arribat a confeccionar un model de vela d'Optimist vàlid per a l'ús en la competició de regates i equiparable als prototips de fabricants professionals del sector.

Tot i que el resultat final és satisfactori, cal expressar un seguit de conclusions que s'han anat extraient al llarg del treball realitzat.

Durant l'estudi de la teoria de vela, s'ha constatat la infinitat d'elements que influeixen en el rendiment d'aquesta. Encara que el present projecte només expressi la part corresponent a les condicions de meteorològiques de vent, l'estat del mar i el pes del patró, és segurament imprevisible el nombre d'altres factors que poden intervenir i modificar els resultats.

Uns exemples d'aquests factors podrien ser:

- Les corrents marítimes. Poden influir molt en l'aportació de força de deriva.
- La densitat de l'aigua: la navegació és diferent sigui en el mar o a un llac.
- La tècnica de navegació del patró: un patró amb experiència traurà un partit a les propietats d'una determinada vela que potser per un patró novell poden ser contraproductius. També independentment del pes, la posició que adapti i la capacitat física i tècnica de penjar-se són molt importants. Per molt que un patró tingui el pes adient per equilibrar una vela mitjana, si no disposa de la tècnica suficient per penjar-se el model de vela no serà òptim per ell.
- El trimatge: és de gran influència. Per molt que una vela sigui òptima per a uns paràmetres determinats, si el trimatge no és l'adequat el rendiment d'aquesta no serà l'esperat. Una perxa mal caçada, un metafió amb un nus massa tens que provoca una arruga a la vela, un pujament massa caçat que torna la vela massa plana, o viceversa. És imprescindible que el trimatge sigui l'adequat en cada instant, cosa gairebé impossible tenint en compte la poca estabilitat i constància de les condicions meteorològiques durant els transcurso de la navegació.
- El material: tenint en compte que al cap i a la fi l'embarcació treballa com un conjunt de tots els elements que la componen, el material serà de gran influència en el rendiment de la vela. La duresa dels pals determina una flexió que es transmet a la vela, el nivell de calat de l'orsa varia el punt del centre de resistència lateral, la rugositat o imperfeccions del casc en contacte amb l'aigua generen variacions en la força de resistència, etc.

- La interacció amb altres embarcacions: en format de competició, les embarcacions es creuen de manera que les veles interaccionen i es generen cons de desvent. Quan un vaixell navega a la popa d'un altre, el vent que li arriba no és "net" i no es pot considerar un corrent de flux lliure al voltant de la seva vela.

Amb totes aquestes observacions presents, la conclusió és que és de gran dificultat trobar una vela realment òptima per l'Optimist.

Així doncs, respecte l'anàlisi CFD es consideren els resultats parcialment vàlids ja que s'han menyspreat un gran nombre de factors que, d'altra banda, són molt difícils d'introduir.

De fet, per a qualsevol simulació que es dugués a terme, el resultat mai s'ajustaria a la realitat amb un ventall tan ampli de variables.

Aquest fet ha portat a entendre el per què avui en dia en el sector de la vela l'experiència i la intuïció té tanta presència a l'hora d'efectuar els dissenys. Al principi del projecte es tenia un pensament d'incredulitat respecte la inexistència d'un software que permetés generar el disseny òptim per un seguit de variables. Ara s'entén que el motiu és que hi ha massa variables a introduir, tantes que poden portar a un resultat inexistent. De manera que a nivell professional el mètode és elaborar dissenys en funció de l'experiència i, posteriorment, analitzar-los amb un nombre acotat de factors.

L'objectiu d'un posterior treball seria explorar el límit de les capacitats de simulació amb CFD per extreure resultats amb el major nombre de condicions introduïdes. Es podria considerar que en el present projecte ha sigut un error intentar optimitzar una vela com a element independent. De cares a un següent estudi, un treball més acurat seria analitzar l'embarcació com a un conjunt d'elements que interactuen entre ells causant accions i reaccions.

Per últim, es considera important donar èmfasi a la part experimental del treball que potser no queda tant plasmada a la memòria escrita. Deixant de banda l'anàlisi teòric i disseny conceptual realitzat, l'assoliment dels objectius recauen, en gran part, en el fet d'haver confeccionat el model de vela de manera precisa i exhaustiva. Aquest és un punt que es considera vital per a poder dir que el prototip construït està al nivell del producte que fabriquen marques reconegudes en el sector.

L'autor, Cristina Montia Batlle

Girona, 12 de juny de 2015

9. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Document 1. Memòria i annexos

Document 2. Plànols

Document 3. Pressupost

10. BIBLIOGRAFIA

AECIO. Documentos. (<http://www.aecio.es>, gener 2015)

CHERET, B. Las velas. Comprensión, trimado y optimización, Editorial Juventud. 1a Ed. Barcelona 2003.

CONTENDER. Materiales de vela. (<http://www.contendersailcloth.com>, octubre 2015)

CURSO NORTH SAILS. Trimaje de Vela. North Sails. Barcelona. 2012.

ESCOLA CATALANA DE VELA. Quadern individuals "blau i marró". Barcelona. 2002.

ESCUELA DE VELA NICOLÁS DASSO. Apuntes. (<http://www.optinic.com.ar>, gener 2015)

FEDERACIÓ CATALANA DE VELA. Guia de vela per a tothom. FCV. Barcelona. 2002.

IODA. Optimist Class Rules. (<http://www.optiworld.org>, octubre 2014)

JSAIL. Sails tuning guide. (<http://www.jsail.pl>, octubre 2014)

MAR DE CHILE. La navegación a vela. (www.mardechile.cl, febrer 2015)

NORTHSAILS. Optimist sails. (<http://www.onedesign.com>, novembre 2014)

SCHUL, JOACHIM. Teoría y práctica de las velas: diseños nuevos, materiales nuevos, trimado y optimización. Segunda Edición. Ediciones Tutor. Madrid. 2008.

WHIDDEN, Tom. LEVITT, Michael. The art science of sails. St. Martin's Press. New York, 1990.

ANNEX A

A ANNEX. NOCIONS BÀSIQUES EN L'ÀMBIT DE LA NAVEGACIÓ A VELA

Aquest apartat pretén donar unes nocions i coneixements bàsics en el món de la nàutica, i en concret en l'àmbit de la navegació a vela, per tal de situar en context el present projecte.

A.1 PARTS BÀSIQUES D'UNA EMBARCACIÓ DE VELA LLEUGERA

A la Figura 1:

- 1.-**Casc:** Part de l'embarcació encarregada de la flotabilitat
- 2.-**Proa:** part davantera de l'embarcació.
- 3.-**Popa:** part posterior de l'embarcació.
- 4.-**Babord:** part esquerra de l'embarcació mirant de popa a proa.
- 5.-**Estribord:** part dreta de l'embarcació mirant de popa a proa.
- 6.-**Línia de crugia:** línia teòrica que travessa longitudinalment el cas separant el costat de babord i estribord.
- 7.-**Amures:** costats davanters del casc.
- 8.-**Través:** costats centrals del casc.
- 9.-**Aletes:** costats posteriors del casc.

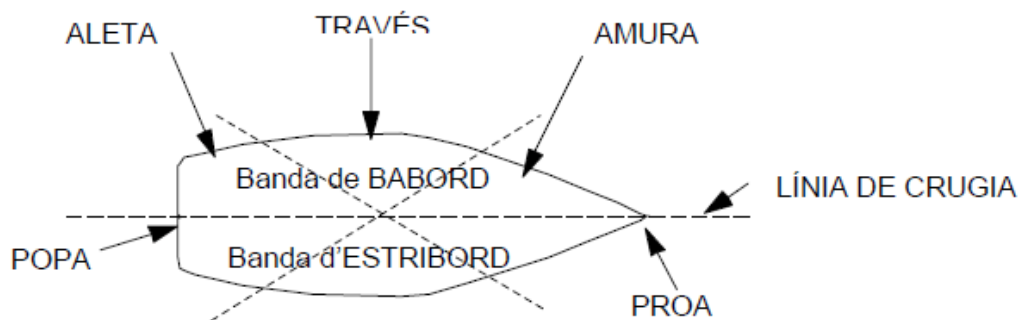


Figura 1. Parts d'una embarcació de vela lleugera 1

A la Figura 2:

- 10.-**Barlovent:** part més propera al vent, normalment es parla de la zona compresa a partir de l'embarcació i apropant-se al vent.
- 11.-**Sotavent:** part més allunyada del vent, normalment es parla de la zona compresa a partir de l'embarcació i allunyant-se en la mateixa direcció del vent.



Figura 2. Parts d'una embarcació de vela lleugera 2

A la Figura 3:

12.- **Orsa:** apèndix del casc encarregat de generar sustentació per contrarestar la força lateral exercida per les veles.

13.- **Timó:** apèndix del casc emprat per dirigir l'embarcació. Es divideix en la pala, la canya i el *stick*.

14.- **Vela major:** vela principal de l'embarcació, vela de popa.

15.- **Gènova o floc:** vela secundària per a embarcacions de més d'un tripulant. Vela de proa emprada per rumbs tancats, generalment per angles de vent aparents menors de 90°. Si la vela va més enllà del màstil s'anomena gènova. Contràriament serà més petita i s'anomena floc.

16.- **Màstil o pal:** element estructural per a suportar la vela. També té una funció de trimatge de les veles a l'hora de modificar l'angle d'aquest respecte de la vertical.

17.- **Botavara:** element estructural que permet variar l'angle de la vela major.

18.- **Estai:** cable que aguanta el màstil per la proa. Va des de la proa del vaixell fins la part de dalt del màstil. Només s'empara en embarcacions de més d'una vela.

19.- **Obencs:** cables que aguanten el màstil pels laterals. Surten del través del vaixell i pugen fins el pal a diferents altures passant per les creuetes de tensió regulable. Només s'emparen en embarcacions de més d'una vela.

20.- **Contra:** és un cap o un sistema mixt de caps i cables que controla la tensió de la baluma independentment de si l'escota està caçada o no.

21.- **Escota:** cap que controla el caçat de cada vela, sense ella no es pot navegar. És la eina utilitzada per orientar la vela i la que suporta la tensió que transmet la vela.

22.-**Sabre:** element estructural en forma de llistó que s'introdueix a la vela per dona-li rigidesa i una determinada forma i afavorir la circulació del flux d'aire.

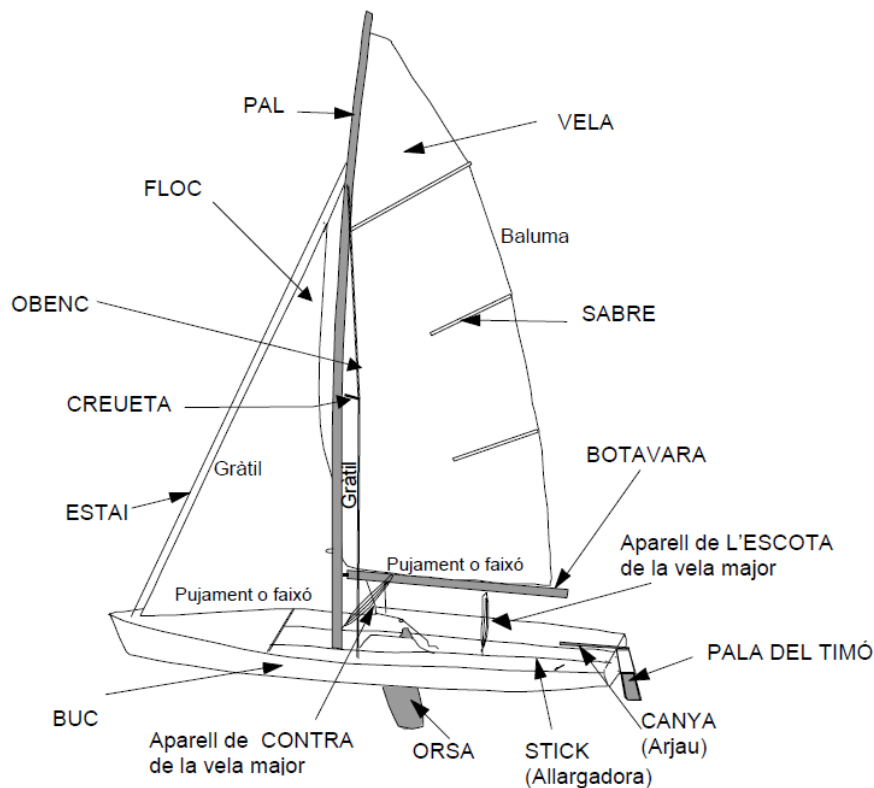


Figura 3. Parts d'una embarcació de vela lleugera 3

A.2 PARTS D'UNA VELA

A la Figura 4:

- 1.-**Gràtil:** costat de la vela que va unit i subjectat al màstil i pel qual entra el flux de vent.
- 2.-**Baluma:** costat posterior de la vela, va des del puny de gràtil fins al puny d'escota i és per on surt el flux de vent un cop a circulat al llarg de la vela.
- 3.-**Pujament:** costat inferior de la vela. Va unit a botavara.
- 4.-**Puny de gràtil:** vèrtex superior de la vela coincident amb la part superior del màstil. També és conegut com puny de drissa.
- 5.- **Puny d'amura:** vèrtex davanter de la vela, és el vèrtex que es troba més a prop de les amures Va fixat a la part baixa del màstil i a la part davantera de la botavara.

6.-**Puny d'escota:** vèrtex inferior més proper a la popa de la vela. Coincideix amb la part final de la botavara i va fixat a aquesta.

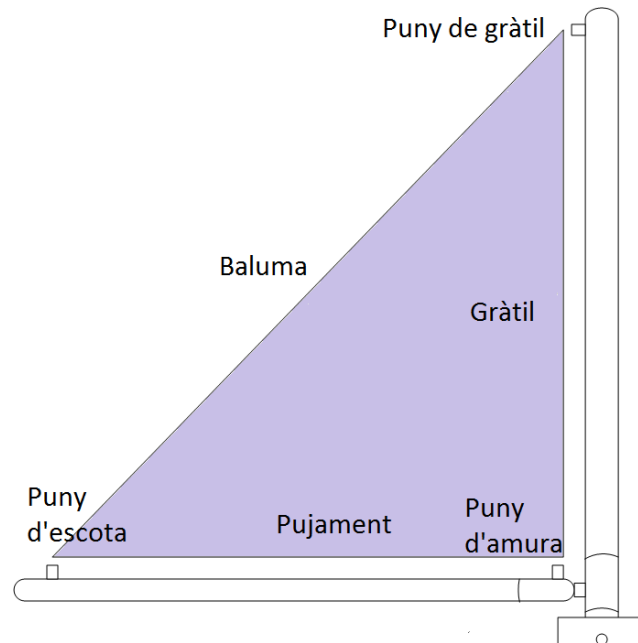


Figura 4. Parts d'una vela triangular

A.3 VOCABULARI GENERAL

Termes que seran emprats sovint al llarg del projecte i que són referents a determinades parts de l'embarcació o bé són expressions utilitzades en el món nàutic per a descriure una acció o un moviment de l'embarcació. Es descriuen a continuació:

- **Cap:** s'anomena així a tota "corda" emprada a l'embarcació.
- **Caçar una vela:** disminuir el grau d'obertura de la vela.
- **Amollar una vela:** augmentar el grau d'obertura de la vela.
- **Isar:** significa "pujar" la vela dalt del màstil
- **Arriar:** significa "baixar" una vela.
- **Trimar:** variar la forma de la vela mitjançant els elements que componen l'embarcació.
- **Escorar:** moviment de l'embarcació entorn el seu eix longitudinal.
- **Capcineig:** moviment de l'embarcació entorn el seu eix transversal.

- **Deriva:** angle de desviació que pateix l'embarcació en la seva navegació per a poder generar la sustentació hidrodinàmica necessària per contrarestar la força lateral de la vela.
- **Bordo:** s'anomena així a cada un dels trams efectuats en una navegació de cenyida.
- **Virar:** acció de canviar de bordo, passant la proa de l'embarcació per la direcció del vent.
- **Trabutjar:** acció de canviar el rumb tot passant la popa de l'embarcació per la direcció del vent.
- **Orsar:** fer que la proa de l'embarcació s'apropi més a la direcció del vent.
- **Caure o arribar:** fer que la proa de l'embarcació s'allunyi més a la direcció del vent.
- **Embarcació ardent:** embarcació que per naturalitat té tendència a orsar.
- **Embarcació tova:** embarcació que per naturalitat té tendència a caure.
- **Amurat a babord:** embarcació que navega a un rumb tal que el vent entra pel costat de babor.
- **Amurat a estribord:** embarcació que navega a un rumb tal que el vent entra pel costat d'estribord. Una embarcació amurada a estribord té preferència sobre una altra que navega a babord segons el Reglament de Drets de Pas.
- **Calat:** profunditat màxima d'una embarcació mesurada des de la seva línia de flotació.

A.4 RUMBS DE NAVEGACIÓ A VELA

Els velers actuals, poden aprofitar la força del vent per navegar en gairebé totes direccions amb l'excepció d'un sector d'uns 45° en contra del vent on la vela flameja degut a la incidència frontal a aquesta.

Un rumb és el sentit que pren la trajectòria d'una embarcació respecte el sentit que pren la velocitat del vent.

Així, segons d'on vingui el vent es pot parlar dels següents rums:

Tancats:

- **Cenyida:** quan el vaixell navega a 20-45° respecte la direcció del vent. Aquest rumb es pot fer per ambdós bordos rebent el vent per l'amura d'estribord o de babord del vaixell. Un vaixell doncs, pot anar contra el vent a força de navegar fent ziga-zagues de manera que vagi virant entre trams en què rep el vent per l'amura d'estribord i després per l'amura de babord.

- **Través:** quan el vaixell rep el vent pel seu través, la proa forma un angle de 90° respecte la direcció del vent.

Oberts:

- **Llarg:** quan el vaixell rep el vent per l'aleta, amb un angle de 135° entre la proa i el vent.
- **Popa:** quan el vaixell rep el vent per la popa, amb un angle de 180° entre la proa i el vent, les veles s'obren oferint una pantalla de màxima superfície.

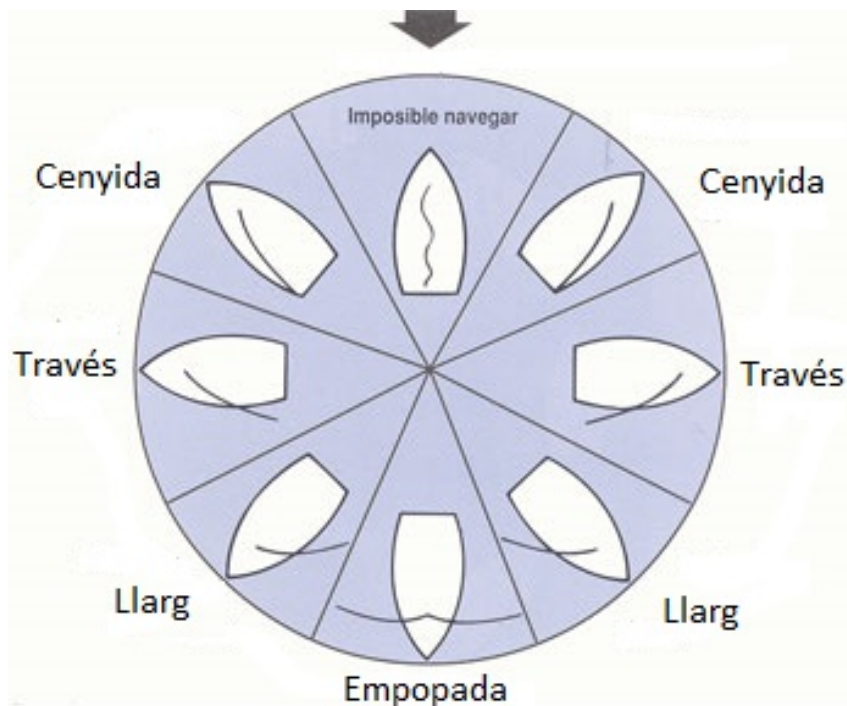


Figura 5. Els rumbos de navegació a vela

A.5 L'EVOLUCIÓ DE LA VELA

La forma de les veles i la seva evolució al llarg del temps ha condicionat els diferents tipus de vaixells que es coneixen a l'actualitat. A continuació, es presenten els diferents tipus de veles

que existeixen partint de la vela quadra, reina de la navegació amb rumbos portants, fins la vela marconi que permet navegar en rumb de cenyida remuntant el vent.

- La vela quadra

A l'Edat de Bronze, es van construir vaixells amb taulons clavats entre ells i es va introduir el concepte de la navegació a vela. Es creu que els primers velers eren de l'estil d'una maqueta del 2400 aC descoberta en una tomba egípcia. Anava aparellada amb una vela quadra hissada damunt un curt màstil central.

És la vela més senzilla i antiga. Els grecs, romans i celtas la utilitzaven en les seves embarcacions. És l'aplicació perfecta de la navegació amb rumbos portants; és a dir, quan el vent incideix per la popa del vaixell. S'utilitza en vaixells de dimensions molt variades, però sobre tot en els grans velers antics en els quals les veles estan aparellades a diferents pals i es superposen unes a les altres. La Figura 6 il·lustra la vela quadra.

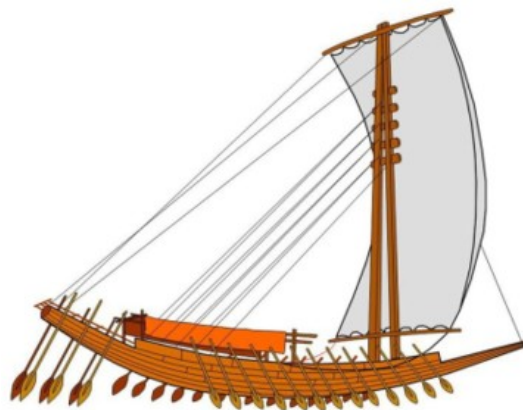


Figura 6. La vela quadra

- La vela llatina

Probablement, la vela llatina també va ser una invenció egípcia. Tenia forma trapezoïdal i estava envergada a una antena disposada obliquament respecte el màstil. Aquest invent era revolucionari perquè permetia, en certa manera, que el vaixell navegues contra el vent ja que podia orientar-se en totes direccions per mitjà de l'escota. Tenia un bon rendiment, tant en velocitat com en rumb, i el seu govern és relativament fàcil. La vela llatina va ser la precursora dels aparells actuals. A l'actualitat, continuen fabricant-se embarcacions amb aquest tipus de vela com a vaixells clàssics de lleure. La Figura 7 mostra prototips de vela llatina actuals.



Figura 7. Torbada d'embarcacions de vela llatina. L'Escaló, agost 2015

- La vela al terç

S'anomena així degut a que la verga no s'hissa pel centre com a la vela quadra, sinó que en un terç de la seva longitud. Aquesta simple variació millora considerablement el seu rendiment navegant contra el vent. Aquesta vela va unida per la part del pujament a la botavara articulada al pal. La seva gran simplicitat de maniobra va fer que s'utilitzés en els vaixells de navegació costera d'Europa. A l'actualitat la vela al terç s'utilitza amb algunes variants, especialment amb la manera d'utilitzar la verga. La Figura 8 il·lustra la vela al terç.



Figura 8. Vela al terç

- La vela cangrea

La vela cangrea neix com a evolució de les veles llatines que guarnien les fragates i els navilis fins al segle XIX. L'aparell es va difondre ràpidament entre els velers de cabotatge del mar del Nord i d'Escandinàvia i, posteriorment, va passar al Mediterrani i Estats Units. Aquesta vela ha sobreviscut fins avui dia, i és utilitzada en l'embarcació de vela lleugera Optimist. És la vela que s'estudia en el present projecte. 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 simètrica i permet remuntar fàcilment el vent. La Figura 9 il·lustra una vela cangrea en una embarcació Optimist dels anys 70.



Figura 9. Optimist amb vela cangrea

- La vela marconi

Aquesta és la vela dels vaixells moderns. La seva forma triangular permet que només es necessiti el mànec i la botavara per ser subjectada. Va aparèixer a l'arxipèlag de les Bermudes al segle XIX.

Com que no duu cap perxa a la part alta, el topall del pal es subjecta a popa per un o dos cables anomenats *backstays* i el mànec és més llarg per anar a buscar el vent cada cop més amunt. L'excel·lent rendiment de la vela marconi en cunyada ha pogut imposar-se en els vaixells de vela moderns. La Figura 10 mostra vaixells antics amb veles marconi.



Figura 10. Vaixells restaurats amb veles marconi

ANNEX B

B ANNEX. CÀLCULS ANÀLISI TEÒRIC QUANTITATIU

A aquest Annex es presenten els càlculs realitzats per dur a terme el capítol 4.4.2 Anàlisi quantitatiu.

Càlcul del pes ideal del patró:

$$\sum M_{CD} = 0 \rightarrow (F_H \cdot x_1 + F_H \cdot x_2) - (P \cdot x_3) = 0$$

$$x_1 = 1340 \text{ mm}$$

$$x_2 = 320 \text{ mm}$$

$$x_3 = 600 \text{ mm}$$

- Vela 1. Intensitat 6 nusos.

$$(51,9 \cdot 1340 + 51,9 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 143,59 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 143,59 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 14,64 \text{ kg}$$

- Vela 1. Intensitat 11 nusos.

$$(98,75 \cdot 1340 + 98,75 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 273,20 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 273,20 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 27,85 \text{ kg}$$

- Vela 1. Intensitat 20 nusos.

$$(147,91 \cdot 1340 + 147,91 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 409,22 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 409,22 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 41,71 \text{ kg}$$

- Vela 2. Intensitat 6 nusos.

$$(63,24 \cdot 1340 + 63,24 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 174,96 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 174,96 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 17,84 \text{ kg}$$

- Vela 2. Intensitat 11 nusos.

$$(134,8 \cdot 1340 + 134,8 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 372,95 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 372,95 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 38,02 \text{ kg}$$

- Vela 2. Intensitat 20 nusos.

$$(165,64 \cdot 1340 + 165,64 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 458,27 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 458,27 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 46,71 \text{ kg}$$

- Vela 3. Intensitat 6 nusos.

$$(81,45 \cdot 1340 + 81,45 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 225,34 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 225,34 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 22,97 \text{ kg}$$

- Vela 3. Intensitat 11 nusos.

$$(182,45 \cdot 1340 + 182,45 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 504,78 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 504,78 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 51,45 \text{ kg}$$

- Vela 3. Intensitat 20 nusos.

$$(251,7 \cdot 1340 + 251,7 \cdot 320) - (P \cdot 600) = 0 \rightarrow P = 696,37 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 696,37 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 70,99 \text{ kg}$$

- Vela 2. Intensitat 6 nusos i x3=400

$$(63,24 \cdot 1340 + 63,24 \cdot 320) - (P \cdot 400) = 0 \rightarrow P = 262,45 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 262,45 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 26,75 \text{ kg}$$

- Vela 3. Intensitat 20 nusos i x3=800

$$(251,7 \cdot 1340 + 251,7 \cdot 320) - (P \cdot 800) = 0 \rightarrow P = 522,28 \text{ N}$$

$$P = m \cdot g \rightarrow 522,28 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 53,24 \text{ kg}$$

- Vela 2. Intensitat 20 nusos i x3=800

$$(165,64 \cdot 1340 + 165,64 \cdot 320) - (P \cdot 800) = 0 \rightarrow P = 343,73 \text{ N}$$

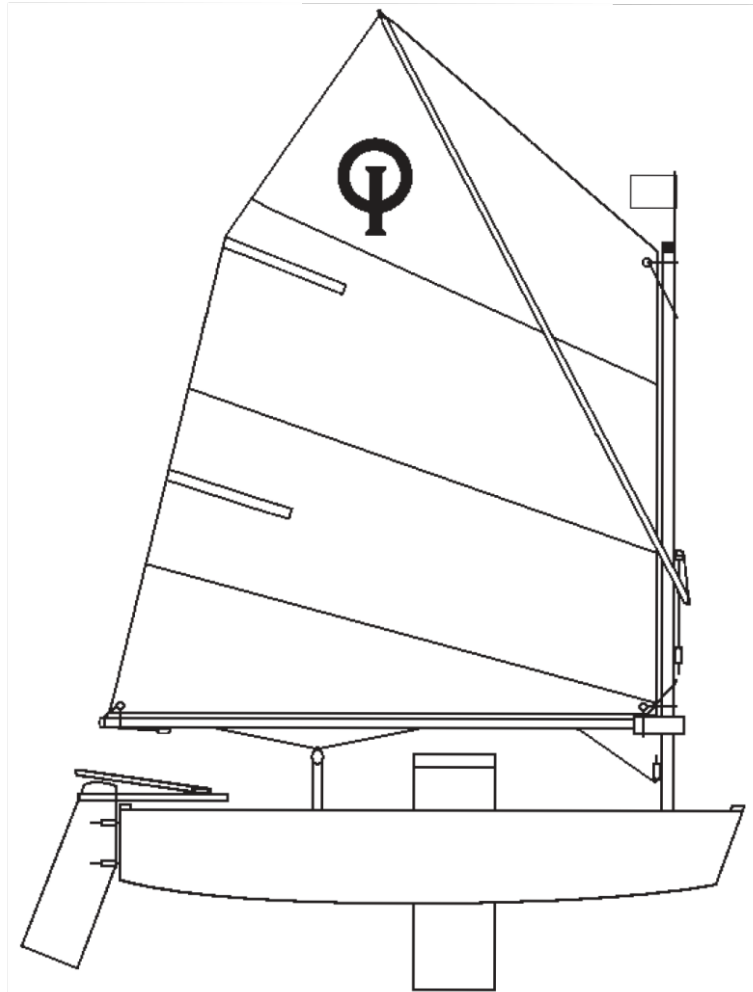
$$P = m \cdot g \rightarrow 343,73 = m \cdot 9,81 \rightarrow m = 35,03 \text{ kg}$$

ANNEX C

C ANNEX. REGLAMENT DE CLASSE OPTIMIST

L'Annex presenta la documentació referent al Reglament Internacional de Classe Optimist elaborat per la IODA. Només es mostra el contingut d'interès relatiu a la normativa de confecció de veles.

2015 INTERNATIONAL OPTIMIST CLASS RULES



Authority*: International Sailing Federation

* The ISAF is not a National Authority as described in these rules

6 **SAIL**

6.1 General

6.1.1 Sails shall comply with the Class Rules in force at the time of certification unless otherwise specified below.

6.1.2 Anything not specifically permitted by these rules is prohibited, see also CR. 1.2.

6.1.3 *Sails* shall be made and measured in accordance with the current ISAF "Equipment Rules of Sailing" as applicable to Optimist sails, except where varied herein. Where a term defined or measurement given in these ISAF Rules is used in these rules, it is printed in "italic" type. All measurements shall be taken along the surface of the *sail* and include any bolt rope and *tabling*. *Battens* shall not be removed for sail measurement purposes.

6.1.4 Certification

A measurer approved by an MNA or a Class Association where so authorised by an MNA shall certify the sail in the tack and shall sign and date the certification mark.

6.2 Sailmaker

6.2.1 No licence is required.

6.2.2. The thickness of the *body of the sail* shall be not less than 0.15 mm. Where in the construction of the *body of the sail* the cloth is of variable thickness, the thinnest parts of the *sail* as measured by a micrometer with a spindle surface of 6.4 mm +/- 0.25 mm diameter shall each be at least 9 mm x 9 mm square, and the thickness of the cloth shall be deemed to be that of the thinnest parts. *Sails* which are not so constructed shall cease to comply with Class Rules from 1 March 2005.

The thickness in mm of the *body of the sail* shall be indelibly marked by the manufacturer, together with his signature, stamp, and date near the *peak point*.

6.2.3 For the purpose of repairing a sail, ply different to the ply of the body of the sail may be used up to a limit of one panel or one secondary reinforcement.

6.3 Mainsail

6.3.1 Identification

6.3.1.1 The class insignia shall conform with the dimensions and requirements as detailed in the diagram in CR 2.7.1 and be placed in accordance with the diagram contained in Sail Plan Sheet 4/5. No part of the class insignia shall extend beyond 1000 mm of the peak point. The class insignia shall be placed back to back on both sides of the sail.

6.3.2 Materials.

The ply fibres shall be of polyester or cotton.

6.3.3 Construction

6.3.3.1 The construction shall be: soft sail, single ply sail.

6.3.3.2 The body of the sail shall consist of the same woven ply throughout.

6.3.3.3 The sail shall have two batten pockets in the leech. Local widening for batten insertion (if any) shall be on the upper edge of the batten pockets. The outer end of the batten pockets shall be parallel to the leech at that point.

6.3.3.4 The leech shall not deviate more than +5/-10 mm from a straight line between:

a. the peak point and the intersection of the leech and the upper edge of the top bat-

ten pocket.

- b. The intersection of the leech and the lower edge of the top batten pocket on the intersection of the leech and the upper edge of the lower batten pocket.
- c. The clew point and intersection of the leech and the lower edge of the lower batten pocket.

Sails which do not comply with CR 6.3.3.4 shall not be used after 1 March 2005.

- 6.3.3.5 The leech shall not deviate more than +20/-5 mm from a straight line between the intersection of the leech and the lower edge of the top batten pocket and the clew point. Sails presented for first measurement after 1 March 2005 shall comply with this rule.
- 6.3.3.6 The following are permitted: stitching, glues, bolt ropes, tabling, 2 batten pockets, batten pocket elastic, batten pocket patches, flutter patches, one trapezoidal window, sail maker label, sail button(s), tell tales. Further to CR 1.2 and 6.1.2, the following are prohibited: carbon fibres, titanium.
- 6.3.3.7 Primary reinforcements shall be made of woven ply of any thickness. The ply fibres shall be made of polyester or cotton.
- 6.3.3.8 Secondary reinforcements shall be made from the same woven ply as the body of the sail, with the exception that batten pocket patches and flutter patches may be made from a woven cotton or polyester ply, thinner than that of the body of the sail. Edges of secondary reinforcements shall be fixed by a maximum of two lines of stitches or bonding agents. Parallel or nearly parallel lines of stitching or bonding agent used elsewhere in the secondary reinforcement shall be more than 40 mm apart. If two rows of closely positioned stitching are used to fix the edge of the secondary reinforcement then any inner lines of parallel stitching shall be more than 40 mm distant from the inner line of edge stitching.
- 6.3.3.9 Tabling shall be either by folds of the body of the sail, or of separate polyester or cotton material not thinner than the body of the sail.
- 6.3.3.10 Each batten pocket patch shall consist of two layers of white material. Ply different to the ply of the body of the sail may be used. Sails first presented for measurement after 1 May 2015 shall comply with this rule.
- 6.3.3.11 Wire or elastic cord shall not be used in the sail. Any bolt rope or tabling used to strengthen the luff or head of the sail shall be fastened to the sail throughout its entire length. If a bolt rope is enclosed in the tabling, it shall be sewn to the sail by visible stitches at those corners of the sail to which the rope extends. No bolt rope is permitted in the leech or foot.
- 6.3.3.12 There shall be 8 eyelets in the foot of the sail, including those at the tack and clew. There shall be 8 eyelets in the luff of the sail, including those at the throat and tack. (See also CR 6.4 for spacing between eyelets in luff and foot.)

6.4 Dimensions

	Minimum	Maximum
1 <i>Leech length</i>	-	2800 mm
2 <i>Head length</i>	-	1240 mm
3 <i>Diagonal</i>	2450 mm	2580 mm
4 <i>Distance between luff mid point and leech mid point</i>	-	1700 mm
5 <i>Throat point to foot mid point</i>	-	2130 mm
6 <i>Luff length</i>	-	1730 mm
7 <i>Width of luff measurement band</i>	5 mm	-

	Minimum	Maximum
8 Length of <i>luff</i> measurement band	60 mm	-
9 Upper edge of <i>luff</i> measurement band to <i>throat point</i>	-	600 mm
10 Thickness of <i>woven ply</i> anywhere in the <i>body of the sail</i>	0.15 mm	-
11 <i>Primary reinforcements:</i> from corner measurement points	-	205 mm
12 <i>Secondary reinforcements:</i> from corner measurement points	-	615 mm
13 <i>Batten pocket patches at inner end</i> of each <i>batten pocket</i> : smaller: larger:	- 160 mm	150 mm 200 mm
14 <i>Flutter patches</i>	-	150 mm
15 <i>Tabling width</i>	-	40 mm
16 <i>Seam width</i>	-	15 mm
17 Trapezoidal <i>window opening area</i>	-	0.1 m ²
18 Shortest distance from <i>window</i> to any edge of <i>sail</i>	150 mm	-
19 <i>Batten pocket length</i> outside: Upper batten pocket Lower batten pocket	- -	460 mm 550 mm
20 <i>Batten pocket width</i> (outside)	-	40 mm
21 <i>Peak point</i> to intersection of <i>leech</i> and lower edge of uppermost <i>batten pocket</i>	900 mm	1000 mm
22 <i>Peak point</i> to intersection of <i>leech</i> and lower edge of lowermost <i>batten pocket</i>	1850 mm	1950 mm
23 Deviation from straight line between peak point and upper corner of upper batten pocket	-10mm	+ 5 mm
24 Deviation from straight line between the lower edge of the top batten pocket and the upper edge of the lower batten pocket:	-10mm	+5 mm
25 Deviation from straight line between lower corner of lower batten pocket and clew point	- 10 mm	+ 5 mm
26 Deviation from straight line between the lower corner of the upper batten pocket and clew point	- 5 mm	+ 20 mm
27 Space between luff eyelets	230 mm	260 mm
28 Space between foot eyelets	270 mm	300 mm
29 <i>Foot Irregularity</i>		15 mm

6.5 Class Insignia, National Letters and Sail Numbers, Luff Measurement Band

6.5.1 Numbers and letters on sails shall be of the following dimension (see also Sail Plan sheet 4/5)

	minimum	maximum
1 Height	230 mm	240 mm
2 Width (except "1" or "I")	150 mm	160 mm
3 Width for M and W	160 mm	170 mm
4 Thickness	30 mm	40 mm

The national letters shall be placed on the same line on opposite sides of the *sail* with letters on the starboard side of the sail closer to the luff than those on the port side of the sail (see also Sail Plan sheet 4/5). The numbers shall be placed in two rows below the letters with the starboard side numbers uppermost. The following spacing shall apply

		minimum	maximum
5	Space between adjoining numbers or letters	40 mm	50 mm
6	Space between rows of numbers or letters	40 mm	50 mm
7	Space between the national letter groups on opposite sides of the <i>sail</i>	100 mm	150 mm
8	Distance between the <i>luff</i> and the closest letter or number in each row	150 mm	
9	Distance between lower edge of uppermost <i>batten pocket</i> and the national letter which is closest to the <i>leech</i>	40 mm	50 mm
10	Distance between number closest to the leech and the leech: as per RRS Appendix G1.2(b)		

6.5.2 The sail shall have a sail measurement band on its luff (luff measurement band). This band, of a colour that strongly contrasts with the sail, shall be permanently fixed or marked on both sides of the sail. It shall be perpendicular to the edge of the luff of the sail, and shall start at its edge. See CR 3.5.2.7 and Sail Plan for position and dimension of bands.

6.6 Additional rules

6.6.1 Only *sails* endorsed in accordance with CR 2.5.6 shall be used.

6.6.2 The manufacturer of *sail battens* is optional. The construction material is optional except that carbon fibre is prohibited.

6.6.3 Fastening and positioning.

6.6.3.1 The upper edge of the *luff* measurement band shall not extend above the lower edge of Band No. 1, and the lower edge of the *luff* measurement band shall not extend below the upper edge of Band No. 2. At the *throat*, both mast holes or lacing eyes referred to in CR 3.5.2.6 shall be used to prevent any part of the *luff* measurement band rising above the lower edge of Band No. 1.

6.6.3.2 No part of the *clew point* shall extend beyond the inner edge of the boom band.

6.6.3.3 The *luff* of the *sail* shall be lashed to the mast at each eyelet so as to be within 10 mm of the mast.

6.6.3.4 The *foot* of the *sail* shall be lashed to the boom at each eyelet so as to be within 10 mm of the boom. Alternatively, at the *tack* eyelet, it may either be lashed to the jaw fittings or attached through two holes in the jaws or jaw fittings, so as to be within 10 mm of the boom or its imaginary extension (see also Rigging Plan sheet 12/12).

6.6.3.5 The *sail* shall be fastened to the mast and boom with cordage only.

6.6.3.6 The *peak* of the *sail* shall be fastened to the upper end of the sprit either by means of an eyelet at the *peak*, or by means of a loop made of tape or rope sewn to the *peak*.



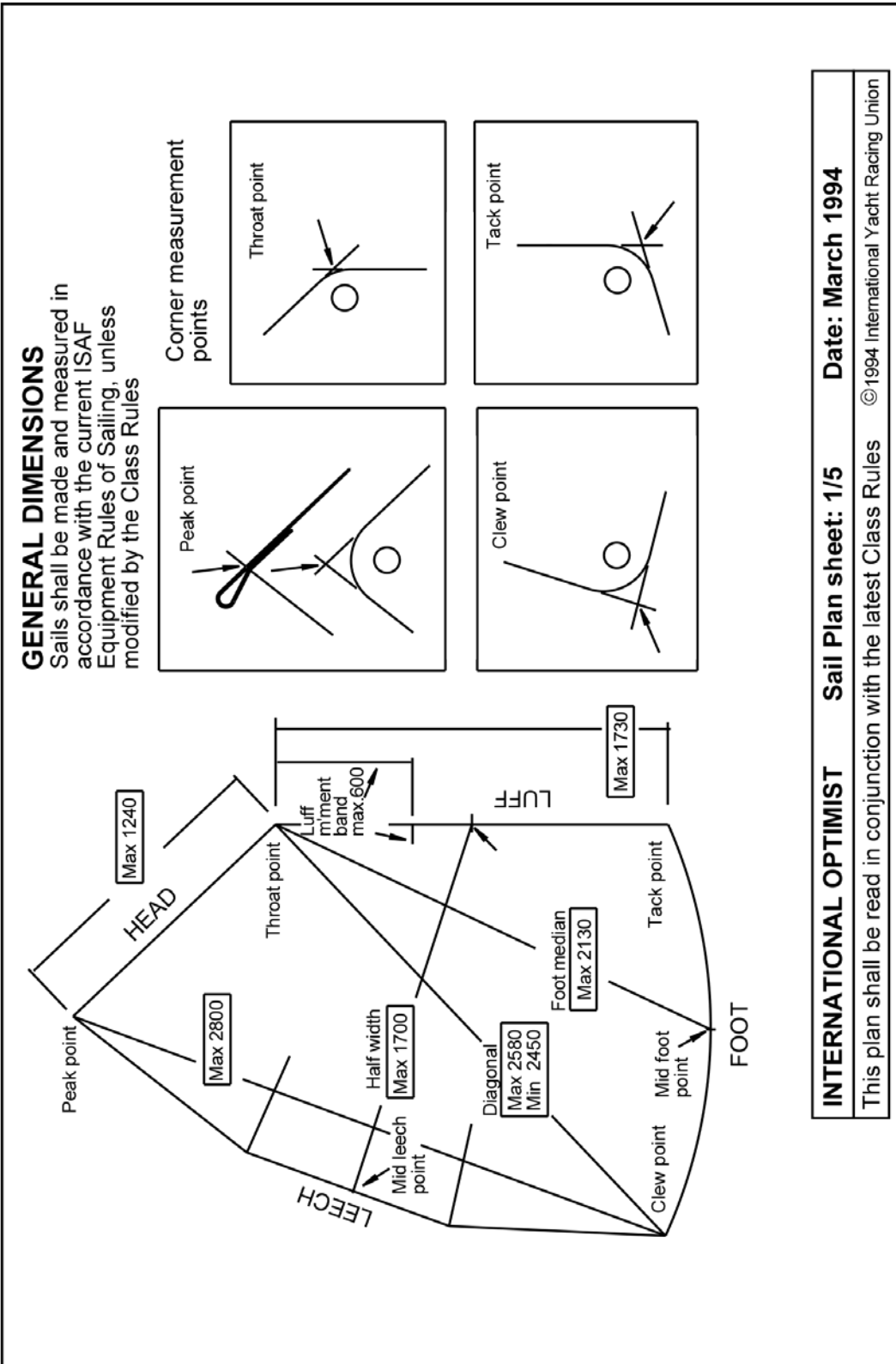
International Optimist Dinghy Association

OPTIMIST SAIL PLAN

INDEX

- 1/5 General dimensions
- 2/5 Material, reinforcements and batten-pockets
- 3/5 Window, tabling, bolt-ropes and eyelets
- 4/5 Sail numbers, insignia and button
- 5/5 Positioning measurement band

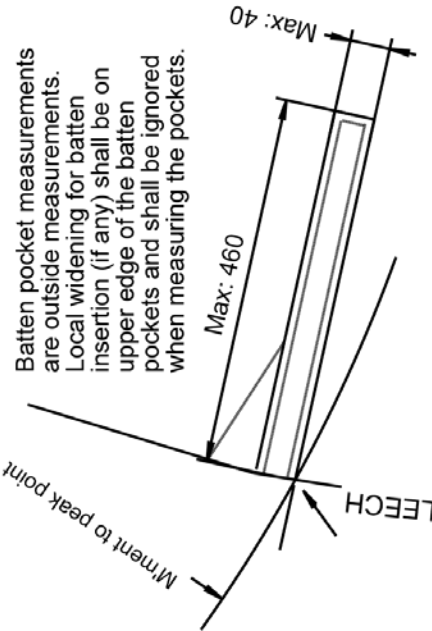
**ALL MEASUREMENTS IN MILLIMETRES
DIAGRAMS NOT TO SCALE**



INTERNATIONAL OPTIMIST Sail Plan sheet: 1/5 Date: March 1994
 This plan shall be read in conjunction with the latest Class Rules ©1994 International Yacht Racing Union

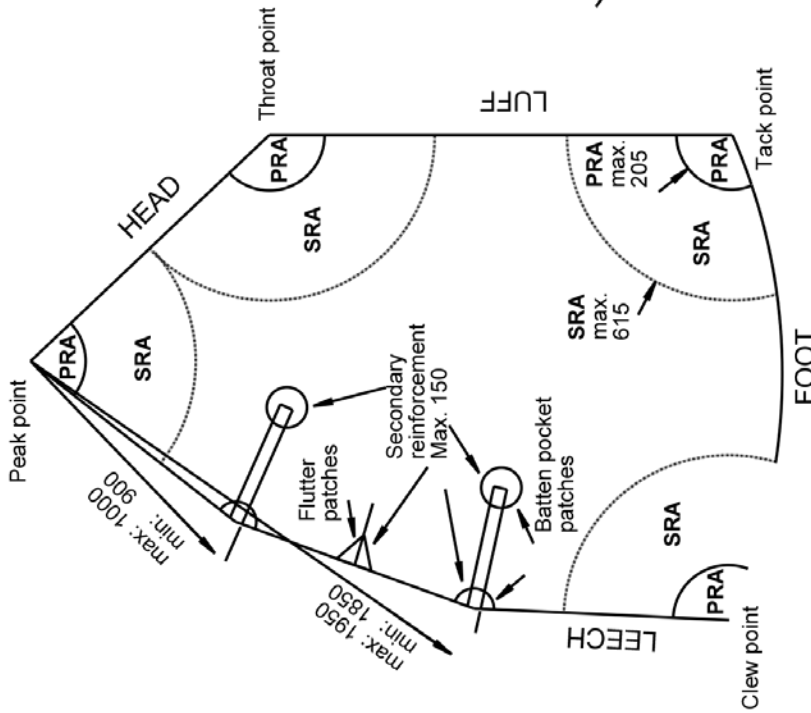
MATERIAL, REINFORCEMENTS & BATTEN POCKETS
 Rules 6.1, 6.2, 6.6.2

The body of the single-ply soft-sail shall consist of the same woven ply throughout. The minimum thickness of the woven ply anywhere in the body of the sail shall be not less than 0.15mm. The ply fibres shall be of polyester or cotton.



Batten pocket measurements are outside measurements. Local widening for batten insertion (if any) shall be on upper edge of the batten pockets and shall be ignored when measuring the pockets.

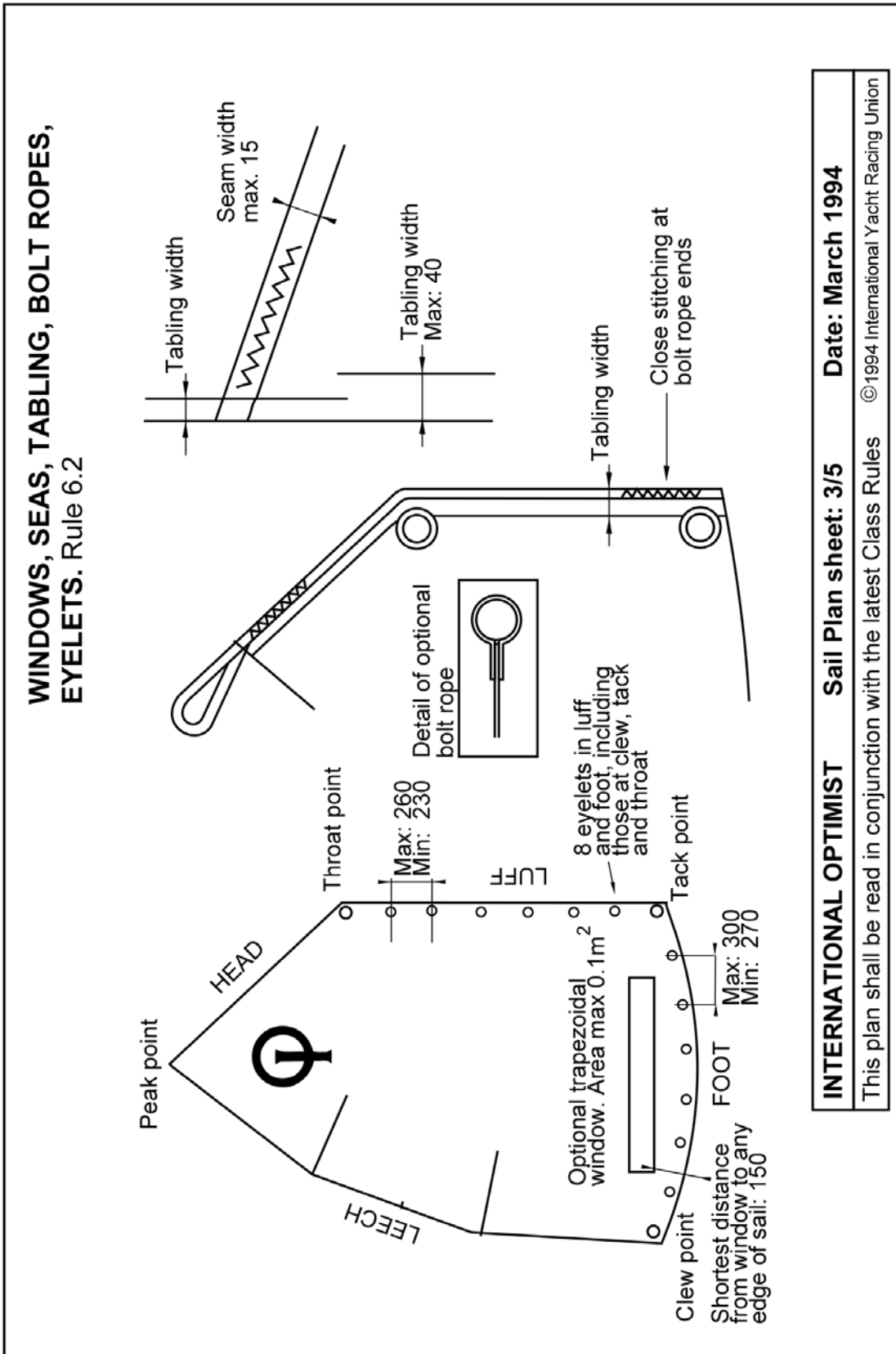
Battens shall not be removed for measurement purposes

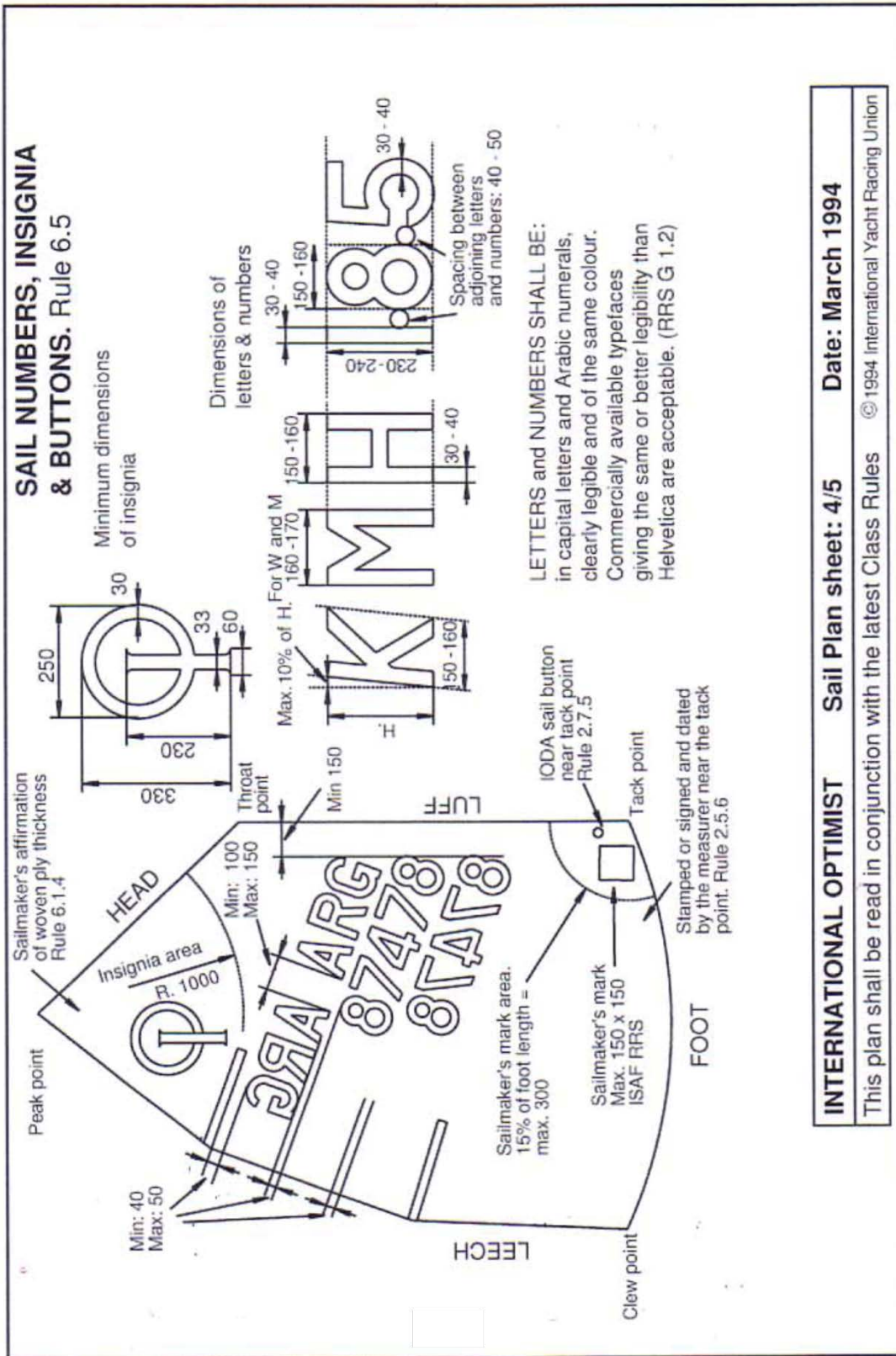


PRA = Primary Reinforcement Area.

SRA = Secondary Reinforcement Area. (Rule 6.2.1.5; 6.2.2)

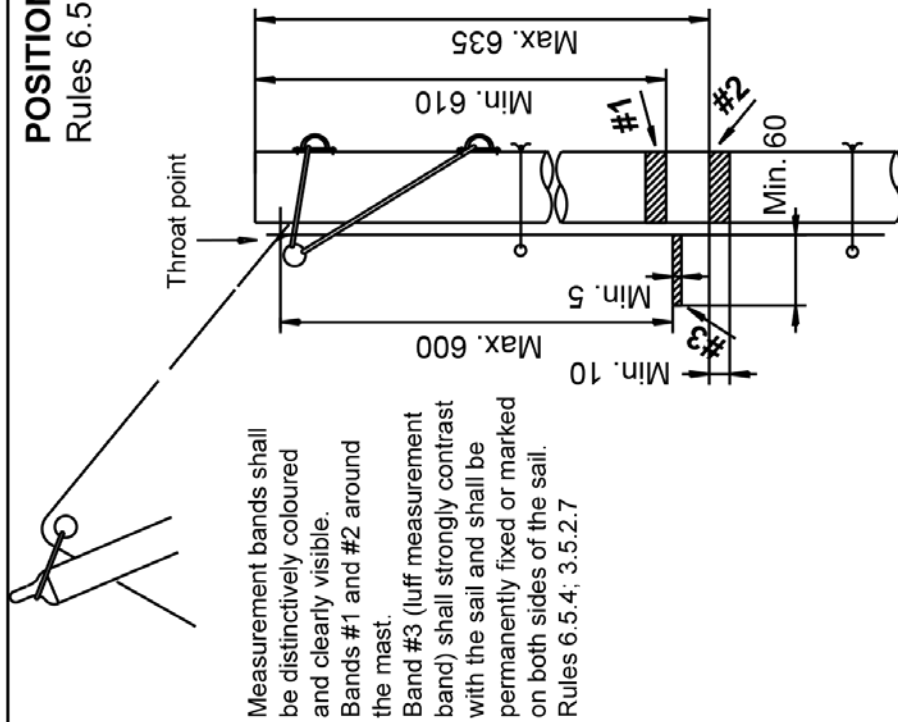
INTERNATIONAL OPTIMIST	Sail Plan sheet: 2/5	Date: March 1994
This plan shall be read in conjunction with the latest Class Rules ©1994 International Yacht Racing Union		





POSITIONING, LUFF MEASUREMENT BAND

Rules 6.5.4; 6.6.3.1; 3.5.2.7



Measurement bands shall be distinctively coloured and clearly visible.
 Bands #1 and #2 around the mast.
 Band #3 (luff measurement band) shall strongly contrast with the sail and shall be permanently fixed or marked on both sides of the sail.
 Rules 6.5.4; 3.5.2.7

No part of the luff measurement band #3 shall extend above the lower edge of mast-band #1 or below the upper edge of mast-band #2.

INTERNATIONAL OPTIMIST	Sail Plan sheet: 5/5	Date: March 1994
This plan shall be read in conjunction with the latest Class Rules ©1994 International Yacht Racing Union		

ANNEX D

D ANNEX. CERTIFICAT DE MEDICIÓ DE LA VELA

Al present Annex s'adjunta el certificat firmat per Paco Coll, persona titulada per la Federació Catalana de Vela com a medidor capacitat per validar veles d'Optimist.

El certificat permet utilitzar el prototip a regates nacionals i internacionals.



FORM #

INTERNATIONAL OPTIMIST CLASS

Sail Measurement Form

Sailmaker's name: CM SAILS Date manufactured: 19-XII-14

Sail button number: 64175 Date measured: 20-I-15

Owner's Name: Cristina Montic

Measurer's Name IN BLOCK CAPITALS: PACO COLL

ITEM	Dimension no [as per rule 6.4]	MEASUREMENT	Min. (mm)	Actual (mm)	Max. (mm)
1	2	Head length		1230	1240
2	6	Luff length		1730	1730
3	9	Upper edge of luff measurement band to throat point			600
4	8	Length of luff measurement band	60	60	
5	7	Width of luff measurement band	5		
6	3	Diagonal	2450	2509	2580
7	1	Leech length			2800
8	22	Peak point to intersection of leech and lower corner of lowermost batten pocket	1850		1950
9	21	Peak point to intersection of leech and lower corner of uppermost batten pocket	900		1000
10	25	Deviation from straight line between lower corner of lower batten pocket and clew point	-10		5
11	24	Deviation from straight line between lower edge of top batten pocket and upper edge of lower batten pocket	-10		5
12	26	Deviation from straight line between the lower corner of the upper batten pocket and clew point	-5		20
13	23	Deviation from straight line between peak point and upper corner of upper batten pocket	-10		5
14		Half luff point to half leech point			
15	4	Item 14 plus positive value of any negative deviation in Item 11			1700
16	19	Upper batten pocket length (outside) Lower batten pocket length (outside)		OK/ Not OK OK/ Not OK	460 550
17	20	Batten pocket width (outside)		Both OK/ Not OK	40
18	14	Flutter patches			150
19	11	Primary reinforcements from corner measurement points		All OK/ Not OK	205
20	12	Secondary reinforcements from corner measurement points		All OK/ Not OK	615
21	13	Batten pocket patches at inner end of each batten pocket: smaller larger	160	OK/ Not OK OK/ Not OK	150 200
22	15	Tabling width		All OK/ Not OK	40
23	16	Seam width		All OK/ Not OK	15
24	10	Thickness of woven ply anywhere in the body of the sail	0.15		
25	17	Trapezoidal window opening area		✓	0.1 m2
26	18	Shortest distance from window to any edge of sail	150	✓	
27	27	Space between luff eyelets	230	All OK/ Not OK	260
28	28	Space between foot eyelets	270	All OK/ Not OK	300

Measurer's signature: Paco Coll Date: 20-I-15 Measurer recognised by: FCV

**Sail Measurement Form
National Letters and Sail Numbers**

SAIL NUMBER: ESP - 125

ITEM	Dimension no [as per rule 6.5.1]	MEASUREMENT	Min. (mm)	Actual (mm)	Max. (mm)
1	1	Height	230	All <u>OK</u> / Not OK	240
2	2	Width (except "1" or "I")	150	All <u>OK</u> / Not OK	160
3	3	Width for M and W	160	All <u>OK</u> / Not OK	170
4	4	Thickness	30	All <u>OK</u> / Not OK	40
5	5	Space between adjoining numbers or letters	40	All <u>OK</u> / Not OK	50
6	6	Space between rows of numbers or letters	40	All <u>OK</u> / Not OK	50
7	7	Space between the national letter groups on opposite sides of the sail	100	<u>130</u>	150
8	8	Distance between the luff and the closest letter or number in each row	150	<u>150</u>	
9	9	Distance between lower edge of uppermost batten pocket and the national letter which is closest to the leech	40	<u>45</u>	50
10	RRS G1.2(b)	Minimum space between characters and edge of sail (leech)	45	All <u>OK</u> / Not OK	

Measurer's Name IN BLOCK CAPITALS: PACO COCC

Measurer's signature: _____ Date: _____ Measurer recognised by: _____

**Second Measurement
If the sail letters/number is changed**

SAIL NUMBER: _____

Owner's Name: _____

ITEM	Dimension no [as per rule 6.5.1]	MEASUREMENT	Min. (mm)	Actual (mm)	Max. (mm)
1	1	Height	230	All OK / Not OK	240
2	2	Width (except "1" or "I")	150	All OK / Not OK	160
3	3	Width for M and W	160	All OK / Not OK	170
4	4	Thickness	30	All OK / Not OK	40
5	5	Space between adjoining numbers or letters	40	All OK / Not OK	50
6	6	Space between rows of numbers or letters	40	All OK / Not OK	50
7	7	Space between the national letter groups on opposite sides of the sail	100		150
8	8	Distance between the luff and the closest letter or number in each row	150		
9	9	Distance between lower edge of uppermost batten pocket and the national letter which is closest to the leech	40		50
10	RRS G1.2(b)	Minimum space between characters and edge of sail (leech)	45	All OK / Not OK	

Measurer's Name IN BLOCK CAPITALS: PACO COCC

Measurer's signature: Paco Cocc Date: 20-1-15 Measurer recognised by: FCV

