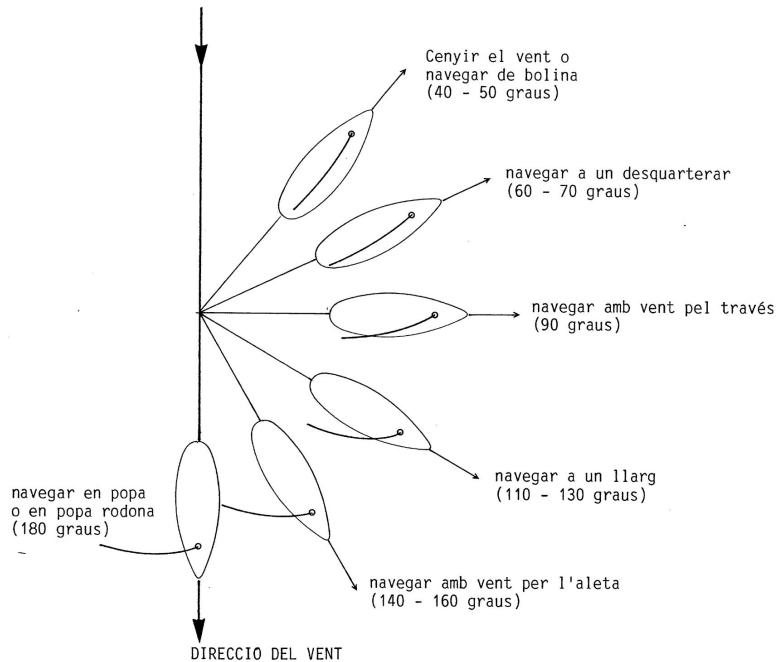


QB011
Lleugera idea dels
principis teòrics de
la propulsió a vela
(Veles de tall)

Joaquim Pla i Bartina

RUMBS TRADICIONALS RESPECTE DEL VENT APARENT

Quan al vaixell li ve el vent per la mateixa proa, es diu que el té a fil de roda.



Un vaixell va AMURAT a una banda (babord o estribord) quan rep el vent per aquella, sigui quin sigui l'angle d'incidència. Un vaixell que navega en popa rodona o que té el vent a fil de roda, no va amurat a cap banda.

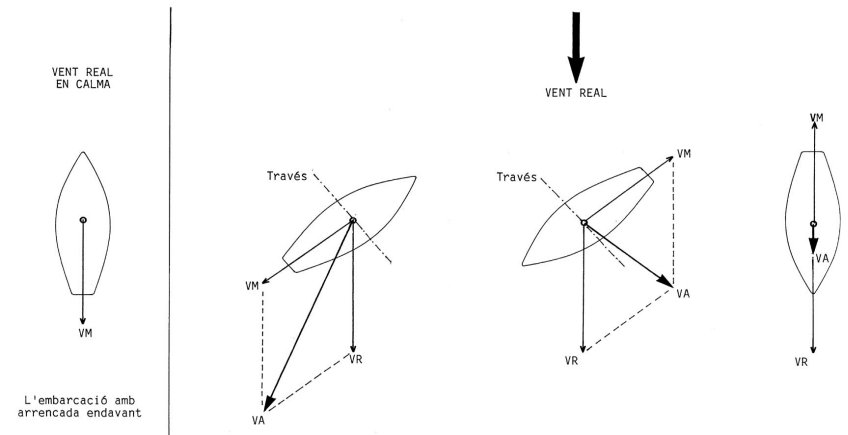
Vent real i vent aparent

Vent real

És el que realment bufa en un lloc i un moment determinats, amb una direcció, una intensitat i unes característiques concretes, que poden variar amb el temps. És el vent que es nota a terra quan s'està quiet, o a bord d'una embarcació absolutament immòbil, i el que especifiquen els comunicats meteorològics.

Vent aparent

És el que es nota a bord d'un vehicle –en el nostre cas, una embarcació – que es mou. És el resultat de compondre el vent real amb el generat pel moviment del vehicle. Amb calma absoluta de vent real, si una embarcació camina endavant, a bord es notarà un vent de direcció contrària al moviment de l'embarcació i d'intensitat igual a la velocitat d'aquella. En una embarcació en moviment, el vent aparent és el que ens indiquen el penell i l'anemòmetre de bord. Les veles treballen pel vent aparent, i cal disposar-les segons aquell. La direcció del vent aparent sempre serà més tancada cap a proa que la del vent real, per efecte del vent corresponent al moviment, que sempre va de proa a popa, si l'embarcació avança. Si el vent real bufa per proa del través, la intensitat del vent aparent és major que la del primer. Si el vent real bufa per popa del través, la intensitat del vent aparent és menor que la d'aquell.



Navegant en popa rodona, la intensitat del vent aparent és la diferència entre la del vent real i la velocitat de l'embarcació. Si la primera és major que la segona, el vent aparent bufarà de popa a proa; en cas contrari, ho faria de proa a popa.

Efectes del vent sobre una vela de tall

Les veles de tall no són meres superfícies planes, sinó que estan confeccionades de manera que, sotmeses a l'acció del vent, adoptin una forma corba, aerodinàmica, gràcies a la qual el seu efecte de propulsió s'incrementa considerablement. Quan una vela està ben disposada, en relació al vent, aquest actua a la vegada sobre les dues cares d'aquella: en la de sobrevent exerceix una pressió directa, la magnitud de la qual depèn de l'energia cinètica de l'aire (velocitat del vent) i de l'angle d'incidència; en la de sotavent, en provocar una inflexió de les línies de flux de l'aire, hi genera una zona depressionària que xucla la vela. La força d'aquesta succió sol ser unes tres vegades superior a la de la pressió directa del vent sobre la cara oposada, i és màxima en el treç de proa de la vela, decreixent de manera gradual cap al caient de popa.

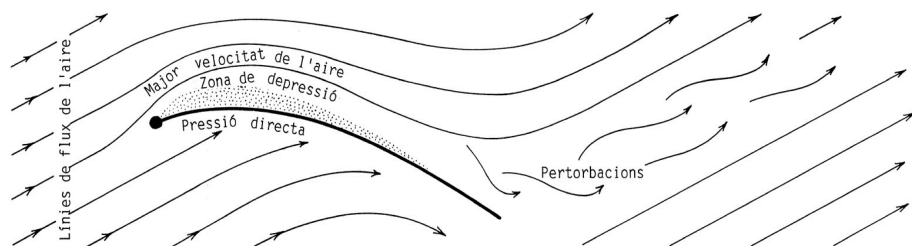


Fig. 1

En tots i cadascun dels punts de la superfície de la vela, l'efecte total del vent és la suma de la pressió directa sobre la cara de sobrevent i de la succió que atrau la de sotavent. La direcció de la força resultant d'aquesta suma (R, Fig. 2 B) és perpendicular a la tangent a la corba de la vela en cada punt, i el sentit, com és lògic, de sobrevent a sotavent.

Velocitat màxima d'una embarcació a vela, en funció del vent aparent

Amb les veles ben disposades, la velocitat d'una embarcació a vela depèn del rumb respecte al vent aparent amb què navegui i de la força d'aquell, ja que del rumb esmentat en depenen el rendiment aerodinàmic de la vela i la direcció de la resultant total (FT), la qual dóna una component de propulsió (FP) màxima (veure Fig. 4 A).

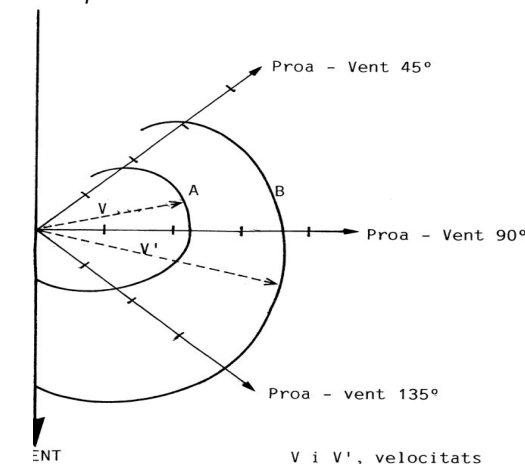
Amb veles de tall, una embarcació sol assolir la màxima velocitat quan el vent aparent ve obert de 100 graus a 130 graus de la proa; és a dir: entre el vent de través i el llarg, més o menys.

Si el vent és fluix, la màxima velocitat s'assoleix amb el mínim d'aquells valors, i si és fresc o fort, amb el màxim.

No cal dir que si el vent incideix amb un angle inferior al mínim de cenyida, que depèn del tipus i de la forma de la vela, aquesta flameja i l'embarcació no avança. Si el vent ve a fil de roda, les veles flamegen al mig i l'embarcació va endarrere (velocitat negativa).

Navegant amb vent per la popa –en popa rodona-, la vela no té cap efecte aerodinàmic (el vent només la pitja) i la velocitat de l'embarcació sempre és bastant inferior a la màxima que pot assolir amb el mateix vent navegant al rumb adequat.

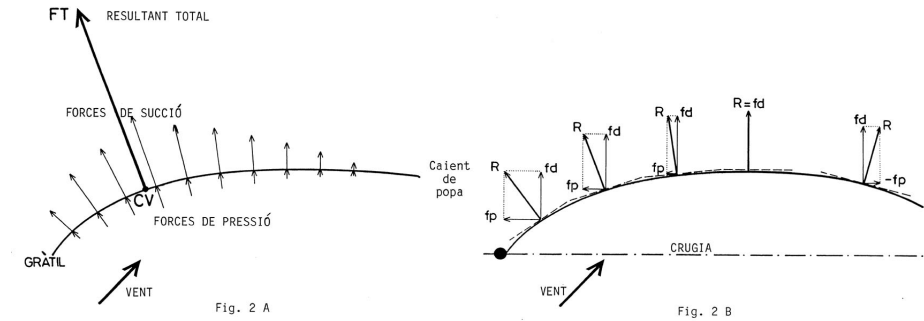
Corba polar de velocitats d'una embarcació amb vela de tall



Corba A - velocitats amb vent fluix
Corba B - velocitats amb vent fresc

Conclusions pràctiques

- Tota vela ben disposada fa avançar l'embarcació.
- Tota vela que flameja no fa avançar l'embarcació i la fa derivar.
- Tota vela caçada al mig no fa avançar l'embarcació, la fa derivar molt i té un efecte evolutiu important.
- Tota vela aquarterada fa retrocedir l'embarcació i té un efecte evolutiu màxim.
- Les veles que tenen el centre vèlic a proa del centre de resistència lateral fan arribar l'embarcació.
- Les veles que tenen el centre vèlic a popa del centre de resistència lateral fan orsar l'embarcació.
- A cada rumb, dur les veles caçades just per evitar que flamegin, però no més.
- Quan el vent comença a actuar sobre una vela ben disposada, l'efecte de deriva es manifesta immediatament, però el d'arrencada tarda un cert temps a fer-ho. Tota embarcació de vela, abans d'arrencar deriva un xic.
- Tota embarcació que navega a vela i va endavant, també abat.
- L'embarcació que va endavant i abat, té tendència a orsar.
- L'embarcació que va endarrere i abat, té tendència a arribar.
- Moure pesos cap a proa (augmentar el calat de proa) intensifica la tendència a orsar.
- Moure pesos cap a popa (augmentar el calat de popa) intensifica la tendència a arribar.
- La mar per l'amura augmenta la tendència a arribar i fa disminuir la velocitat.
- La mar per l'aleta augmenta la tendència a orsar, incrementa un xic la velocitat i dificulta el govern.
- Una embarcació de vela és delicada i capriciosa com una donzella. Dominar-la només és qüestió de sensibilitat. No la governa millor el més fort, sinó el més hàbil.



De la forma de la corba de la vela en depenen tant la magnitud de la zona depressionària, i d'aquella, la força de succió, com la direcció de les forces resultants (R, Fig. 2 B) en cadascun dels punts. Aquelles forces resultants (R) es poden descompondre en dos components: una, paral·lela al pla de crugia (fp), que serà de propulsió si el seu sentit és cap a proa, i una altra (fd), perpendicular a aquell pla, que farà derivar l'embarcació.

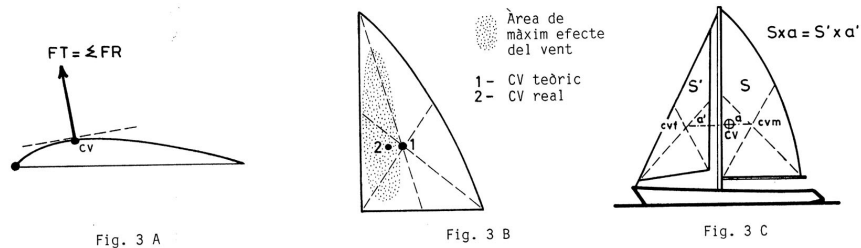
Com es pot veure en la figura 2 B, per la situació de la zona depressionària, l'efecte que el vent exerceix en la part de proa de la vela és molt superior al que correspon a la resta de la superfície de la vela (més intens, major component de propulsió i menor component de deriva). També, per la forma de la corba de la vela, si és massa tancada cap al caient de popa, la component de propulsió fins i tot pot canviar de sentit i convertir-se en una força de frenada (-fp).

La força resultant de la suma dels efectes del vent en tots i cadascun dels punts de la vela, la **resultant total** (FT, Fig. 2 A), s'aplica al centre geomètric (centre de gravetat) de la figura de la vela, punt que rep el nom de **centre vèlic**. La direcció d'aquella resultant és perpendicular a la tangent a la corba de la vela en el centre vèlic, i el seu sentit, de sobrent a sotavent.

En realitat, el centre vèlic no sol coincidir exactament amb el centre geomètric de la vela, sinó que se situa un xic més cap a proa, perquè, com ja s'ha dit, la zona més efectiva de la vela és la seva part proera. Però, aquest decalatge entre la situació teòrica i real d'aquell punt és molt petit, insignificant a la pràctica.

Mecànica de la propulsió a vela

La resultant total, FT (Fig. 4 A), també es pot descompondre en dues components: la de *propulsió*, FP, de direcció paral·lela al pla de crugia i de sentit popa – proa, i la de *deriva*, FD, de direcció perpendicular a aquell pla de sentit sobrevent – sotavent. Una i altra són la suma de les components que corresponen a cada punt de la vela.

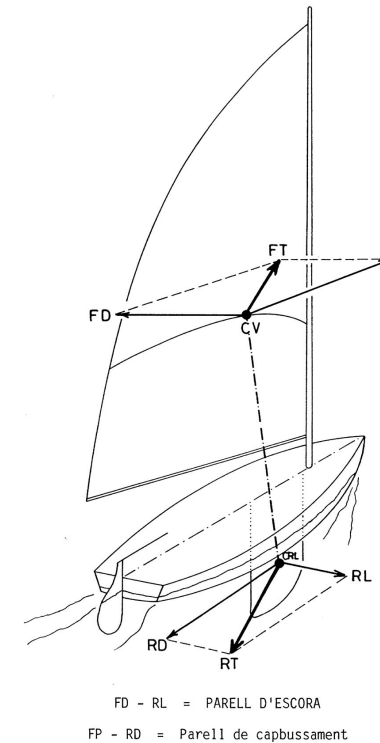
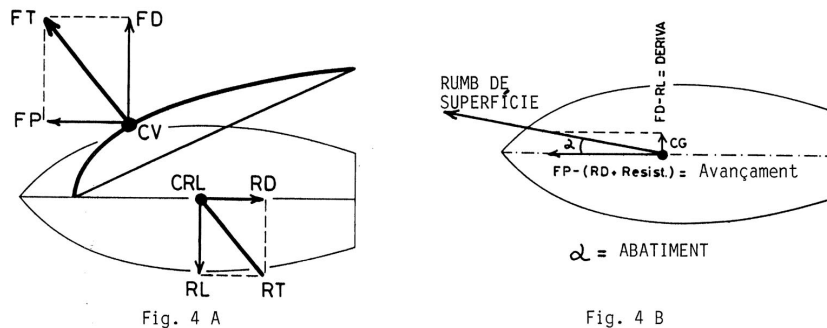


D'antuvi, suposem que l'embarcació representada en la figura 4 A, amb la vela sotmesa a l'acció del vent i ben disposada, pogués moure's sobre l'aigua en totes direccions amb igual i màxima facilitat, com si la seva carena fos una superfície plana i llisa que llisqués sobre una capa de gel ben rasa. Aquella embarcació només es mouria en la direcció i sentit de FT, i seria del tot impossible fer-la moure en altres direccions i sentits. Però, una embarcació real té obra viva. La carena té una secció longitudinal, el **pla de resistència lateral** o **pla de deriva**, molt important, que ofereix una gran resistència a l'aigua quan l'embarcació es mou de costat i que s'oposa a tot moviment en aquest sentit.

Efecte de la vela sobre l'estabilitat de l'embarcació

Com que el centre vèlic sempre està situat molt més alt que el centre de resistència lateral, les forces FD i RL (Fig. 8) formen un parell que fa escorar l'embarcació cap a sotavent. A l'acció d'aquest parell s'hi oposa la del parell d'adreçament (desplaçament i flotabilitat aplicades al centre de gravetat i al centre de carena, respectivament). Quan l'embarcació escora per acció del vent, el parell d'adreçament comença a actuar, i quan la seva acció s'igualava a la del parell escorant, l'embarcació s'estabilitza amb una certa escora.

Així, en tota embarcació de vela, a partir de certa força del vent, l'escora és inevitable. De les qualitats de l'embarcació i de la correcta disposició dels pesos a bord, dependrà que l'escora sigui més o menys pronunciada.



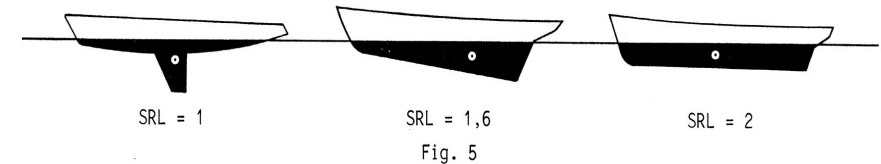
Equilibri de rumb

L'efecte combinat dels dos parells de forces abans esmentats determina el comportament de l'embarcació en l'aspecte d'equilibri de rumb, o sigui de la capacitat de mantenir-lo. Una embarcació amb el velam ben equilibrat mantindrà el rumb sense massa necessitat de recórrer al timó, la intervenció del qual sempre és un fre.

L'equilibri de rumb s'aconsegueix assolint un compromís satisfactori entre els efectes d'aquells dos parells de forces. Si no és així, l'embarcació tindrà massa tendència a orsar – serà ardent – o a arribar – serà tova-, que caldrà compensar amb una constant i excessiva acció del timó, que produirà una considerable pèrdua de velocitat i, en conseqüència, també un augment de l'abatiment.

A la pràctica, sempre és millor que les embarcacions de la vela siguin un xic ardents, tant perquè tinguin una reacció de defensa pròpia i natural quan el vent carrega massa (a mesura que orsa, l'efecte del vent sobre la vela decreix, perquè disminueix l'angle d'incidència), com perquè la canya tingui un mínim de sensibilitat, necessari per governar a vela. Aquesta mínima tendència a orsar s'aconsegueix situant el centre vèlic un xic més cap a popa que el centre de resistència lateral. La magnitud del decalatge d'ambdós centres dependrà del tipus d'embarcació: les formes de la carena, l'existència d'una orsa, l'aparell que porti, etc.

En les embarcacions modernes, que tenen una bona orsa, per compensar l'efecte d'orsada que produeix aquella a l'escorar, sovint cal situar el centre vèlic un xic més cap a proa que el centre de resistència lateral.



Quan el vent incideix sobre una vela ben disposada, apareix la resultant total, FT, i l'embarcació comença a moure's en la direcció i el sentit d'aquella força. Des de l'inici d'aquest moviment, l'aigua exerceix una pressió sobre el pla de resistència lateral, la força RT (Fig. 4 A), d'igual direcció que FT però de sentit contrari, que creix en funció del quadrat de la velocitat d'aquell moviment inicial. El valor d'aquesta força de resistència, RT, depèn de l'àrea del pla de resistència lateral i de les formes de la carena. El punt d'aplicació de RT, o **centre de resistència lateral**, CRL (Fig. 4 A i 5), en teoria és el centre geomètric del pla de deriva.

La força que exerceix l'aigua sobre el pla de deriva, RT, també es pot descompondre en dues: la de **resistència lateral**, RL (Fig. 4 A), perpendicular al pla de crugia i de sentit oposat a FD, que impedeix, en part, el moviment lateral de l'embarcació, i la de **resistència a l'avançament**, RD (Fig. 4 A), paral·lela a aquell pla i de sentit oposat a la component de propulsió FP, o sigui que és una força de frenada. A RD se li sumen totes les resistències que s'oposen al caminar de l'embarcació, tant les d'origen hidrodinàmic (formació de deixant, fregament de la carena amb l'aigua, etc.), que són les més importants, com les produïdes pel fregament de l'aire amb l'obra morta i l'aparell. Si el resultat d'aquella suma és menor que FP, l'embarcació avançarà; en cas contrari no ho faria. Primerament, per la poca velocitat inicial de l'embarcació en direcció i sentit de FT quan aquella comença a moure's, i per la poca densitat de l'aigua, després; RL sempre és inferior a FD. Així, sempre queda una força residual igual a $FD - RL$ (Fig. 4 B), que produeix un petit i constant desplaçament lateral de l'embarcació, de manera que sempre deriva un xic mentre avança: **abat**. Per això, el moviment real de l'embarcació, el seu **rumb de superfície** i la seva **velocitat** corresponen a magnitud, direcció i sentit de la resultant de la suma de les forces $FP - (RD + resistències)$ i $FD - RL$ (Fig. 4 B).

- Tota vela situada sobre el mateix pla de crugia –caçada al mig- (FT perpendicular a aquell pla, o quasi, efecte propulsiu nul), no propul·leix l'embarcació, però té un efecte evolutiu màxim (Fig. 7 D).

D'aquests conceptes elementals se'n pot deduir el següent:

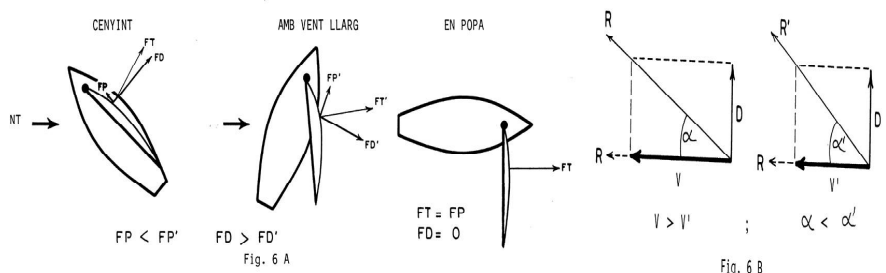
- Quan la vela està ben disposada i comença a treballar, **l'embarcació, abans d'arrencar endavant, deriva** un xic.

- **Tot veler que va endavant, abat** en major o menor grau, excepte quan navega en popa rodona.

(Una embarcació deriva quan es mou lateralment sense que tingui arrencada endavant, i abat quan ho fa al mateix temps que avança).

L'angle α que forma la resultant de sumar les forces $FP - (RD + resistències)$ i $FD - RL$ amb la línia de crugia és l'**abatiment**. El seu valor depèn de l'àrea del pla de resistència lateral, de les formes de la carena, del rumb respecte al vent amb què navega l'embarcació i de la velocitat (Fig. 6 A).

Lògicament, essent el moviment lateral, D, el mateix, a major velocitat ($V > V'$) l'abatiment és menor, i viceversa (Fig. 6 B)



Suposem que un veler pogués navegar en un medi molt dens o sòlid, o, més senzillament, que pogués adherir-se bé a la superfície sòlida sobre la qual navegués, com ho fan els trineus i els carros a vela. En tal cas, la resistència al desplaçament lateral seria total ($RL = FD$ - Fig. 4 A) i l'abatiment seria nul.

Efectes evolutius de la vela

Amb la vela ben establerta i treballant, si el centre vèlic estigués sobre la vertical del centre de resistència lateral, l'embarcació, movent-se en aigües tranquil·les sense escorar, seguiria el rumb de superfície i caldria una força aliena a l'acció de la vela per canviar el rumb, com la que genera una ficada de timó.

Però, com que la vela treballa a la banda de sotavent (si treballés al mig, a crugia, no engendraria cap força propulsiva), el centre vèlic queda a aquella banda, apartat del pla de crugia i cap a proa o cap a popa del centre de resistència lateral, segons la posició de la vela respecte al buc. La separació dels dos centres és la causa que la vela, a més del seu efecte propulsiu, en produeixi un altre d'evolució, pel qual l'embarcació tendeix a canviar de rumb.

Per quedar el centre vèlic a sotavent del centre de resistència lateral, les forces FP i $RD + resistències$ formen un parell que dona a l'embarcació una constant tendència a orsar (Fig. 7 A). Endemés, les forces FD i RL formen un altre parell que, si el centre vèlic està més a proa o més a popa del centre de resistència lateral, fan arribar o orsar l'embarcació, respectivament (Fig. 7 B i C). Segons la posició d'ambdós centres, els dos parells de forces sumen o resten els seus efectes.

Així, podem dir que:

- Les veles que tenen el **centre vèlic a proa del centre de resistència lateral**, a més de propel·lir l'embarcació, la **fan arribar**.
- Les veles que tenen el **centre vèlic a popa del centre de resistència lateral**, a més de propel·lir l'embarcació, la **fan orsar**.
- Tota vela situada sobre el mateix pla de crugia –caçada al mig- (FT perpendicular a aquell pla, o quasi, efecte propulsiu nul), no propel·leix l'embarcació, però té un efecte evolutiu màxim (Fig. 7 D).

