

Hernán Martínez Muñoz

Navegación Deportiva a vela

Para instructores y futuros campeones



Derechos reservados 2012

©Hernán Martínez Muñoz

Inscripción DPI número:

ISBN:

Enero 2012

Editado por www.esritores.cl

Impreso en Chile / Printed in Chile

Presentación

Desde que inicié, sin grandes pretensiones, estos apuntes destinados a servir de apoyo a unas clases de navegación a vela, he tenido que volver a estudiar y a navegar más que nunca, porque me he visto enfrentado a explicar en unas hojas lo que he desarrollado casi en forma instintiva en el agua.

Los temas básicos de navegación son conocidos por todos y están al alcance de un computador o en un libro con excelentes fotos. Sólo me habría bastado recolectar algunos datos, copiarlos y tema terminado. Pero al hacerlo me encontré con opiniones que no calzaban con lo que daba por sabido, aparecieron las dudas que inmovilizan, y tuve que revisar todo de nuevo. Después de varios años de responsable estudio, puedo afirmar que efectivamente el material que disponemos, para lograr una mejor preparación más allá de lo básico, es escaso, incompleto, está lleno de contradicciones y de afirmaciones que son sólo la repetición de documentos anteriores, muchos de ellos sin base y otros definitivamente equivocados. Mis apuntes copiados habrían sido más de lo mismo, más de lo que disponemos actualmente y probablemente de menor calidad.

Estoy claro y ustedes deben saber que las palabras no pueden describir con exactitud los fenómenos que rodean a la navegación, y que sólo la experiencia en el agua, acompañada de permanente y documentada observación, nos ofrece la posibilidad de acercarnos un poco más al rostro de la realidad.

He invertido mucho tiempo en esto, mucho más de lo que imaginé, y creo que ahora que he aclarado algunos importantes temas, pienso que estoy en condiciones de hacer un buen aporte.

Como verán, en ellos planteo puntos de vista en materias que normalmente no aparecen en textos o son escasamente tratados, y en otros en que discrepo porque simplemente presentan gruesos errores. Espero que este esfuerzo contribuya a mejorar el conocimiento de la navegación a vela, actividad que tantas alegrías me ha regalado.

Mitos y errores históricos en la navegación a vela.

Los mitos son **creencias** de una cultura, de una disciplina o de una comunidad, la cual los considera verdaderas. Son “verdades” no demostrables pero necesarias para soportar teorías.

La navegación a vela y las técnicas que empleamos para lograr un mejor rendimiento, mayor velocidad, mayor potencia, está influenciada por muchos “mitos” creencias o ficciones que se arrastran por años.

Estos mitos no nacen de la sabiduría de los viejos navegantes, sino que aparecen en nuestra disciplina a partir de la publicación de los primeros libros orientados a explicar en forma científica los funcionamientos de las velas, publicados en el año 1925 o cercanos a él. Los mitos generalmente son creencias no demostrables, o de difícil comprensión, sin embargo son útiles para quien, sin base o conocimiento, trata de justificar una acción.

A falta de una indispensable investigación orientada a la navegación a vela en esa época, y para explicar lo que ocurre en nuestras velas, los primeros autores recurrieron a los fenómenos físicos descubiertos para otras disciplinas, como la aeronavegación, desconociendo por completo los importantes principios físicos ya conocidos en esa fecha, y pasando por alto el importante detalle que se trata de dos disciplinas diferentes, regidas por leyes físicas parecidas, pero no iguales.

Pero, ¿cuál es el origen y en que me baso para lanzar tamañas afirmaciones? Partamos por el principio:

Desde hace siglos que los hombres deseaban volar como los pájaros y de acuerdo a sus precarios medios inventaron alas y artilugios destinados a emular a los plumíferos voladores. Muchos murieron en el intento.

En los inicios del siglo veinte, año 1900 adelante, y aprovechando experiencias anteriores, aparece una generación de nuevos investigadores de temas relacionados con los fluidos y su efecto sobre los objetos. Entran en escena para dar un enorme impulso a los conocimientos de “La Mecánica de Fluidos” y su aplicación práctica. Es la época del inicio de la aeronavegación en donde los países más avanzados y emprendedores no economizaron recursos destinados a la investigación para crear aparatos voladores.

Los descubrimientos de esa época, en que la pretensión de velocidades de vuelos no era alta, no han sufrido importantes variaciones hasta la fecha. Los actuales libros científicos no aportan grandes avances en los temas referidos a la acción del viento sobre los elementos a bajas velocidades, que son diferentes a la acción de fluidos sobre cuerpos insertos en ellos a altas velocidades, como se podrá ver más adelante.

El viento y el agua, actúan en forma diferente en nuestras velas, en nuestro casco y en todo objeto material cuando actúan a baja velocidad que cuando lo hacen a gran velocidad. ¿Cual es el límite? La respuesta es extensa y es el tema de estos apuntes.

Para argumentar lo que expongo los llevaré a un breve recorrido por la historia de esos investigadores aeronáuticos y mencionaré algunas instituciones que nacieron, para resaltar la importancia que tuvo el desarrollo de la aeronavegación en el ámbito mundial, en relación con la poca importancia que se le ha dado históricamente a la investigación de fenómenos físicos relacionados con la navegación a vela y vuelos a bajas velocidades.

La mayoría de las primeras explicaciones de los fenómenos físicos que se llevaron a textos de velas, son verdaderas copias de las investigaciones aeronáuticas, y estructurales como las desarrolladas por Eiffel, también a principios del siglo XX.

Todos estos descubrimientos y conclusiones destinadas a la aeronavegación fueron expuesta al conocimiento público después de la primera guerra mundial o sea en los años cercanos a 1920. Se destacan en esto las publicaciones hechas por N.A.C.A. de Estados Unidos de América y otras instituciones similares de otros países.

Muchas de las recopilaciones hechas por importantes autores como Warner and Jhonston en su libro “Aviation Handbook” y Kart D. Word en su libro “Technical Aerodynamics” en los años 30 y otros, fueron posteriormente ajustadas y vertidas en libros para la navegación a vela.

Lo grave, es que hasta hoy, los textos de velas de gran difusión, así como artículos de expertos en navegación difundidos por Internet, los criterios empleados por fabricantes de velas, siguen repitiendo esquemas aeronáuticos discutibles en materias que son fundamentales, como la generación de la sustentación en una vela y el equilibrio de una embarcación debido al cambiante centro de presión, de las formas de velas y del funcionamiento cuando forman sociedad foque mayor. Siguen considerando a la vela como un ala de avión.

Los investigadores de la aeronavegación, de principios del siglo XX, estudiaron muchos perfiles de alas en túneles de viento de distintas formas y lo importante para ellos era determinar:

- 1.- La capacidad del perfil para generar fuerzas opuestas a la fuerza de gravedad,**
- 2.- Que tuvieran el menor arrastre, o sea menos resistencia al desplazamiento,**
- 3.- Que fueran estables al paso del viento.**

Descubrieron que los perfiles unidimensionales como nuestras velas cumplían con los dos primeros requisitos, pero fallaban estrepitosamente en la estabilidad del vuelo, para la velocidad que necesita un avión. A partir de ese momento dejaron de lado las formas aerodinámicas unidimensionales y se abocaron a investigar las alas de aviones que hoy conocemos.

A estos prácticos investigadores, alemanes, norteamericanos, franceses ingleses y de otros países, les importaba básicamente las tres características mencionadas sin detenerse a analizar fenómenos físicos que para la vela son de enorme y vital importancia, como la capa límite, (Prandtl en 1904) o sea los efectos de la viscosidad del fluido sobre la superficie de velas y cascos, y los descubrimientos de Reynolds referidos al desprendimiento de dicha capa límite, o sea cuando se inician las turbulencias.

Para grandes velocidades la capa límite de los cuerpos que se desplazan, es siempre turbulenta, por lo que simplemente dejaron de considerarla, indicando en sus ensayos sólo el N° de Reynolds de los ensayos, como testimonio.

La aplicación de estos fenómenos físicos en la navegación a vela, al revés que en la aeronavegación, son de enorme importancia. Su aplicación destruye o hace desaparecer muchos de los mitos que nos rodean en la navegación a vela y a la vez explica otros comportamientos físicos con los cuales nos topamos siempre mientras navegamos. La aplicación de estos principios hace que le demos no tan sólo importancia a la generación de potencia a nuestras velas sino al arrastre o freno que los fluidos agua y aire oponen a nuestro desplazamiento. Nos hace entender que para ir más rápido debemos eliminar los factores que frenan, el arrastre.

Numerosos textos de navegación aun afirman, que el flujo que traía un rumbo destinado a acceder por barlovento, antes de llegar a la vela se desvía hacia sotavento, lo que obligaría a que la mayor profundidad debería estar en la primera parte de la vela, que permitiría aumentar el ángulo de cazado respecto al rumbo del flujo general, que la sustentación es generada en las velas por la diferencia de presión entre los costados, que la sustentación se genera principalmente en la primera parte de la vela y que es varias veces superior a la presión directa del viento por barlovento, que el flujo a través del canal formado por foque y mayor se acelera para generar mayor diferencia de presión, otros autores afirman que el flujo debe detenerse justo en el paso de la canaleta para después acelerarse, que el centro de presión se encuentra en el tercio de la cuerda desde el punto de ataque, que el equilibrio de un velero sólo depende del centro de presión o centro de empuje de las velas y de la orza o quillote, que el agua se desliza en contacto con la superficie del casco, que el aire lo hace en contacto con la superficie de la vela, etc...

Son los equivocados mitos que hasta hoy perduran, y que intentaremos develar durante el desarrollo de estos apuntes para corregir sus negativas influencias en nuestra disciplina.

Para entender las causas por las que famosos autores de textos de navegación cayeron en la tentación de extender los fenómenos estudiados en la aeronavegación a los temas de la vela, deberemos hurgar en el pasado para saber un poco de los descubrimientos hechos por tales científicos e investigadores de la aeronavegación, para sacar nuestras propias conclusiones.

Veremos que los fenómenos que describen, aun cuando pueden tener el mismo título, no son aplicables ciegamente a nuestros botes y velas como lamentablemente ocurre.

Son los errores históricos que han seguido presente en libros, enciclopedias y en la opinión de muchos expertos navegantes instructores y autores de libros, hasta ahora que escribo estos apuntes.

Sólo a manera de anticipo mencionaré los títulos de temas aeronáuticos en los que se basaron antiguos y modernos autores de textos de navegación a vela para explicar los fenómenos que rigen la navegación a vela.

Al final de estos apuntes, se entregan mayores antecedentes referidos a los descubrimientos de la aeronavegación, que avalan lo expresado.

Temas aeronáuticos publicados post primera guerra mundial.

1.- Análisis de temas aerodinámicos.

- Airfoil o aerofoil o formas aerodinámicas.
- Distribución de fuerzas y centro de presión.
- Resistencia o arrastre al desplazamiento.
- Coeficientes de alzamiento y arrastre.
- Centro de presión móvil.
- .- Valor del máximo coeficiente de alzamiento.
- .- Relación entre el máximo alzamiento, con el arrastre, L / D .
- .- Cuociente entre el coeficiente de alzamiento máximo con el arrastre mínimo.
- .- Desplazamiento del centro de presión.
- .- Estabilidad de las características del ala con la modificación del ángulo de incidencia o inclinación.

2.- Efecto de las modificaciones de un aerofoil.

- Modificación de la curvatura del extradós (parte superior del ala).
- Modificación de la curvatura del intradós (parte inferior).
- Posición de la máxima curvatura.

3.- Formas relacionadas

- Alas de cuerda variable. (Vela triangular)
- Forma del extremo del ala.
- Twist o torcedura del ala

4.- Efecto canaleta en las alas de biplanos (foque mayor)

- Distancia entre las cuerdas de las alas sobrepuestas (gap), Mayor y foque?
- La sobreposición de las alas sobrepuestas (stagger)
- El ángulo entre las cuerdas de las alas (decalage) (trimado)
- Posición de las alas respecto a la perpendicular del eje del avión (caída del mástil)

Sin duda que al leer estos titulares, queda la impresión de que se trata del índice de un libro técnico, o de teoría de navegación a vela.

¡Qué atrevimiento el mío de exponer tamañas dudas!...

Pasé muchas noches sin dormir pensando en estos temas y me acordé de un sujeto que no dormía, pensando en que no podía pagarle a un acreedor. Un día se decidió y le dijo que no le pagaría. A partir de ese momento, el que no pudo dormir fue el acreedor.

Al respecto, he decidido finalmente expresar y publicar mis planteamientos, ensayos y conclusiones, para compartirlos con ustedes, y exponerme al escarnio público, de mis amigos y colegas navegantes, para que quien quiera rebatirlos seriamente, junte libros de navegación a vela y de mecánica de fluidos, en todos los idiomas, gaste muchas noches estudiando, juntando antecedentes en Internet, exacerbando la tranquilidad familiar, perdiendo días maravillosos sentado en bibliotecas o frente a un computador, tal como yo lo hice durante varios años.

Habiendo ya expresado lo anterior, deseo comentarles que estos apuntes nacieron para apoyar unas clases de navegación a vela. Por lo tanto encontrarán en estos apuntes, temas para principiantes, algunas experiencias personales y además materias en que me aventuro en contra de algunas opiniones de destacados y famosos autores de libros de navegación, y también en contra de muchos mitos que limitan la imaginación de los navegantes y de quienes desean investigar nuevas técnicas de lo que nos gusta tanto: navegar y ser los mejores.

Pido benevolencia por mis escritos, que no son producto de un acabado tecnicismo literario, y por aventurarme en recuerdos que son sólo un refrigerio personal en medio de tanto tecleo a dos dedos, tratando de mantener en la mente una coherencia de los extensos temas tratados.

Se perfectamente que los navegantes tenemos nuestros propios sistemas de navegación frente a cada condición de viento y mar, frente a desafíos y regatas, y que somos porfiados por naturaleza, tercos para aceptar consejos o reparos en la forma de sus velas o cómo enfrentar situaciones difíciles, que consideramos casi un insulto que alguien nos indique algo nuevo que modifique nuestra forma de navegar. Aun así y a sabiendas de lo dicho, me expongo para que en soledad y con las cejas arrugadas busquen los errores a lo que expongo en estos apuntes. Ese sólo hecho justifica plenamente este esfuerzo en beneficio de la navegación deportiva a vela y me doy por satisfecho.

Puedo decir ahora que disfruto de una reconfortante tranquilidad.

A manera de prólogo.

Probablemente navegar a vela sea uno de los mayores placeres que puede experimentar el hombre. ¡Que maravilla!, llegar a sentir que uno es parte de la naturaleza, que puedes mirar todo desde otro punto de vista, que te incorporas a un nuevo mundo lleno de desafíos, que te puedes deslizar en silencio por sobre una enorme superficie sin alambradas ni rejas sin más límite que tu capacidad y tu tiempo. Navegar es vivir la libertad a plenitud.

Pero nada es fácil en esta vida, sobre todo en el mar.

Aunque muchas veces no nos importa nuestro riesgo, y navegamos exponiéndonos más de lo prudente, a un montón de personas si les importamos, porque sin darnos cuenta, desde que nos metemos en esto, pasamos a ser integrantes de una familia, la gran familia náutica.

Debemos tratar de conocer el mar y sus enormes dimensiones, el viento que sopla traspasándole su energía, generando olas y corrientes marinas. Conocer cómo el sistema solar, en el que está incorporado nuestro planeta Tierra, interviene en la temperatura y movimientos de los fluidos aire y agua.

Debemos saber de embarcaciones, de experiencias de navegantes que nos precedieron y los de hoy que se destacan y dejan imborrable estela. Debemos saber de nuestras limitaciones, que con el tiempo aumentan.

Nuestra historia en este enorme piélago está llena de valiosos descubrimientos, de increíbles aventuras y heroísmo, hazañas sin límite, llevadas a cabo por hombres como cualquiera de nosotros, que enfrentados a duros desafíos supieron actuar como verdaderos hombres, como hombres de mar.

La actual familia náutica es la legítima heredera de aquellas ricas tradiciones de valentía, honor, hermandad y fraternidad que se fraguaron e inspiraron en el amor al mar.

La tarea de hoy, de cada miembro de esta gran familia, es mantener y cuidar estas ricas tradiciones marineras para que perduren en el tiempo.

Requisitos básicos para ser un navegante a vela.

- **Condiciones personales.**
- **Tener algún grado de instrucción teórica.**
- **Cumplir con normas de seguridad.**
- **Conocer la embarcación.**
- **Tener a un instructor que acompañe en estos primeros pasos.**

A.- Condiciones personales

La vela deportiva, es básicamente una forma de vida. Eso significa que obedece a padrones que van más allá del deporte mismo e involucran formas de comportamiento basados en principios de lealtad, honestidad, respeto, responsabilidad, compañerismo, buenas costumbres. De tal forma que en nuestro deporte no tienen cabida aquellos que de una forma u otra rompen con la sana convivencia o acometen con malas palabras o acciones que vayan en perjuicio de otra persona o de un compañero o de su embarcación.

Los animales llamados salvajes tienen eficientes sistemas para mantener la supervivencia de las distintas especies, de modo que cuando un cachorro muestra los primeros síntomas anormales de ferocidad hacia el resto de la manada y que podrían poner en riesgo la supervivencia de la especie, actúan de inmediato y sin más trámite lo eliminan.

Nosotros, los civilizados y pensantes, no podemos actuar instintivamente para mantener la supervivencia de la especie y regular la calidad de los congéneres, pero al menos nos queda la posibilidad de escoger con quiénes queremos compartir nuestro corto paso por la Tierra, y agruparnos en torno a actividades o en instituciones que interpreten nuestras aspiraciones de convivencia.

En nuestras regatas no siempre tenemos a jueces o testigos que estén vigilando a cada competidor o como nos comportamos, y no deseáramos que así fuera, por lo que en este deporte no deberían participar aquellos que por sacar ventajas, engañan al resto de los competidores con triquiñuelas y actos que van en contra de las reglas del juego limpio, contra las reglas que libremente han aceptado antes del inicio del juego, porque en definitiva se están engañando a si mismo y dañando a lo que nos une, que es la sana camaradería en torno al deporte.

Enseñar a los jóvenes principiantes, ayudar a quién lo necesite, socorrer a un navegante en peligro, así como defender nuestra historia y los principios que nos inspiran, son parte de nuestra obligación, por lo que quien pretenda pertenecer a la familia náutica, debe estar dispuestos a aceptar tal compromiso de supervivencia, junto al mar.

B.- Tener algún grado de instrucción teórica.

Partiendo por conocer el agua,

- que es salada o dulce, y no la debemos ensuciar,
- que moja e inunda,
- que permite flotar y deslizarnos sobre ella,
- que sube, baja y se agita cuando sopla viento,
- que forma corrientes como un verdadero río en el mar,
- que no se puede respirar bajo el agua, pero está llena de vida,
- que sumergido en ella te enfría y mata.

Siguiendo con el viento,

- que mueve los objetos que flotan,
- que sopla siempre de distinta manera,
- que cambia de dirección y de intensidad,
- que normalmente comienza en las mañanas medio dormido
- que tiende a ascender a mediodía,
- que le gusta trabajar o soplar más fuerte en las tardes,
- que en las noches tiende a dormir,
- que no hay que confiar en él porque a veces también aparece por las noches y días corridos, normalmente con mucha fuerza, sin importarle si es feriado o fin de semana.
- que no hay que confiar en él porque siempre puede llevarte a donde tu no quieres.
- que es el responsable de la formación de las olas y las corrientes marinas.
- que es una energía limpia que infla nuestras velas para nuestro provecho y felicidad.

Debemos conocer las técnicas de navegación, conocer los términos náuticos, como se llama cada parte de nuestro velero y las maniobras, como rescatar a un hombre en el agua, supervivencia en el mar, choques y abordajes o lo que es lo mismo, saber cuáles son los derechos, limitaciones y obligaciones reglamentarias mientras navegamos, etc.

C.- Cumplir con normas de seguridad.

Algunas frases de la tradición:

“El cementerio, el fondo del mar y el estómago de los escualos está lleno de intrépidos y audaces que presumían saberlo todo”.

“A los tontos no es necesario matarlos, porque normalmente se matan solos”.

Conociendo como actúa el viento y el agua sobre nuestra embarcación, y sobre nosotros, podemos tomar las precauciones para disminuir los riesgos que eso significa.

Antes de zarpar es obligatorio dar aviso al encargado del Club de Yates o a la autoridad marítima del lugar, para que si no volvemos a la hora indicada por nosotros mismos, inicien zafarrancho de rescate.

Averiguar siempre cuáles serán las condiciones del viento, mar y sus posibles variaciones. Al igual que los aviones, que no salen si no tienen visibilidad, los barcos no deben salir si las condiciones climáticas y de mar sobrepasan la capacidad de la embarcación y nuestros conocimientos o experiencia. Los hombres de cordillera no tienen la obligación de avisar su destino y como consecuencia muchas veces hay lamentar desgracias.

Usar ropa adecuada, para evitar mojarse y pasar frío, usar salvavidas adecuados, y según la travesía que pretendemos cumplir con todos los requisitos en cuanto a implementos exigidos por la autoridad marítima. Tener frío es perder energía corporal, que es limitada. Un hombre sin energía piensa mal, actúa torpemente y toma malas decisiones. En el mar eso es muy grave.

Conocer cuales son nuestros derechos y obligaciones, tal como cuando pretendemos manejar un auto a través de la ciudad.

Si nuestra embarcación naufraga, nunca abandonarla mientras flote. Y si debemos abandonarla, tener la ropa y equipo adecuado para mejorar las posibilidades de salvamento exitoso. Siempre se está más seguro en ella, mientras flote, pensando en que nos rescatarán, a vernos solos en un medio al que no pertenecemos, con todos los peligros que eso involucra.

En caso de peligro, siempre debemos mantener la calma, y en caso de esperar rescate, siempre mantener la esperanza que seremos salvados. Saber que nos están buscando, tener ganas de vivir, mantener el optimismo, nos permitirá soportar más de diez veces el tiempo que necesita el estrés provocado por la desesperación para matarnos.

En una navegación rutinaria y fácil por una bahía, por conocida que sea, siempre es necesario llevar elementos e instrumentos que nos permitan una navegación segura. No puede faltar un cuchillo, alicate, cinta adhesiva con tela, cabos de repuesto, agua para evitar la deshidratación, ya que un hombre sin beber agua es como un motor sin aceite; **pronto se funde**.

Por elemental que sea, y de acuerdo al tamaño de tu embarcación, llevar a bordo un balde u otro elemento para sacar más agua y más rápidamente que la que siempre entra en nuestro bote, remo o motor por si quedas sin viento, una larga cuerda con un anclote por si quedas sin maniobra y el viento nos lleva hacia la costa. La mayoría de las muertes de navegantes después de un naufragio se produce cuando tratan de alcanzar la costa sin tomar precauciones y quedan pocas fuerzas. La costa no siempre es una playa arenosa y tibia como se ve en los anuncios publicitarios. Es bueno recordar que **“la costa es tu amiga y también tu enemiga”**.

D.- Conocer la embarcación

Todas las embarcaciones son distintas, tal como nosotros los humanos, pero felizmente no piensan, por lo que cuando le damos una orden, normalmente obedecen.

Según el tamaño, en algunas podrás caminar por sobre ellas sin que se escoren al punto de volcarse, otras tendrán por forma una mejor flotabilidad y cortarán mejor el agua, unas más livianas que otras y por lo tanto mejor aceleración, unas reaccionan de distinta forma en los virajes o frente a la embestida de una ola,...etc.

Sumamente importante es saber como reacciona en caso que se vuelque, y se llene de agua. ¿Flota, se hunde, queda a ras de agua, se adriza sola, es posible recuperarla para seguir navegando? Son respuestas que es necesario conocerlas previamente y prepararse para la eventualidad que algún día ocurra, porque puede ocurrir. Recuerde las leyes de Murphy.

Capítulo aparte es el conocimiento de las velas y como funcionan para captar del viento la potencia que necesitamos para mover el barco, y la posición de ellas para la derrota que pretendemos.

Saber como se llama cada elemento que conforman las maniobras es básico, para que los que van a bordo entiendan cada orden. Cuando el capitán ordena algo es porque es necesario y esa orden no se discute, y si no se cumple porque los tripulantes no saben a que elemento se está refiriendo, alguna consecuencia puede ocurrir, siendo la mínima, el mejor de los garabatos. A bordo todos deben hablar el mismo idioma, porque si el barco se vuelca el mal será para todos.

No existen recetas mágicas que sustituyan el conocimiento de tu embarcación. El único sistema es navegar en ella con tu tripulación, ajustar las velas para obtener el mejor rendimiento, cómo se comporta con mucho viento, conocer como funciona cada maniobra y como afectan en la arboladura, conocer el casco y su capacidad, ver como lo afecta la distribución de la carga y la posición de la tripulación, como afecta o beneficia la escora según el nivel de ola y viento, en fin cada detalle hasta que la puedas sentirla como una parte más de tu cuerpo.

Este grato aprendizaje, que requiere de tiempo y mucha paciencia es en definitiva, el factor más importante para pretender incorporarse al selecto grupo de navegantes que son capaces de participar con algún grado de éxito en las regatas, o emprender largas travesías sin tanto riesgo. Ese aprendizaje es el que hace la diferencia entre los líderes y el resto de la manada. Es lo que define a los que hacen y dejan historia, del resto de los navegantes.

E.- Tener a un instructor que acompañe en estos primeros pasos.

Las características de los seres humanos hacen que seamos diferentes al enfrentar cada desafío. Frente a un peligro más de alguien se tapaná la cara y gritará, otros arrancarán, los porfiados y valientes lo enfrentarán. Como se trata en este caso de un desafío medido pero que puede estar acompañado de más de algún riesgo, es prudente, desde mi punto de vista, enfrentarlo junto a alguien que haya tenido experiencias similares.

Mi pequeño hijo dijo que el no era valiente porque a los valientes los matan, se los comen las fieras, les meten balazos, se pierden en el mar. Es un respetable punto de vista, pero ya navega conmigo y lo disfruta.

Algunos no necesitan o no les gusta recibir consejos, arrogantes que dicen saberlo todo o tímidos que no se atreven a preguntar, y es posible que terminen por aprender a navegar, pero se van a demorar más y correrán riesgos innecesarios.

A los tímidos, el poeta y cantor Atahualpa Yupanqui les cantó:

***“le tengo rabia al silencio,
por lo mucho que perdí,
que no se quede callado
quién quiera vivir feliz”.***

La arrogancia o soberbia es el pecado preferido del demonio. Me ha tocado rescatar a más de un soberbio, a veces demasiado tarde.

En general la navegación y la vida diaria tienen muchas cosas en común. Para tener éxito, las personas deben prepararse, física, moral e intelectualmente, para vencer los desafíos futuros y los que se presentan a cada instante en nuestras vidas. Prepararnos para tomar decisiones en forma oportuna, saber como dar una orden y saber cumplirlas, conocer nuestras limitaciones y tratar de superarlas, conocer el medio en el que nos desenvolvemos para anticiparnos a las soluciones.

Mirar el horizonte es pensar en el futuro, enfrentar las olas es el diario vivir.

En ambas, navegación y vida diaria, debe estar presente la buena predisposición, la alegría y la mente sana, que nos permite atesorar experiencias y conocimientos. Físicamente en ambas necesitamos llevar una vida activa, sin excesos, que nos proporcionarán la fortaleza necesaria para mover obstáculos y soportar inclemencias. En ambas necesitamos audacia y astucia, para escoger la ruta y por sobretodo las metas, porque **“si no sabes hacia donde vas o donde quieres ir, da lo mismo el rumbo que tomes”**.

Primera Parte

Dedicada a los fluidos agua y aire

Conceptos previos

En este capítulo analizaremos brevemente los fluidos en cuanto a sus propiedades físicas y comportamiento cuando se encuentran en grandes masas sobre nuestro planeta.

El avance de las investigaciones y los conocimientos científicos relacionados con el tema de “La Mecánica de los Fluidos” y sus comportamientos, algo básico para entender y acercarse a lo que es una óptima navegación, aun no han terminado, y su aplicación más profunda siempre está sujeta a dudas. La valiosa ayuda de los programas de computación para llevar a cabo simulaciones y cálculos, han provocado avances y cambios en todo lo que se daba por sabido hasta hace muy poco, y han abierto un nuevo campo de exploraciones, sin embargo las respuestas aun dependen de los datos que les entregamos.

En el orden más casero, personalmente muchas veces he dado por verdaderas las opiniones que nos entregan los libros, o la de experimentados navegantes, y al profundizar en temas relacionados he tenido más de una sorpresa, debido a lo cual y después de mucho trabajo, sólo puedo decir ahora, que existen en la navegación grandes experiencias, categóricas opiniones, profundos conocimientos, pero todos revisables y sujetos a discusión.

No pretendo a través de estos apuntes llegar al fondo de cada tema, porque en este caso el fondo es realmente muy profundo y queda mucho por aprender e investigar, pero en la medida que nos atrevamos a dar a conocer, publicar y mostrar nuestras experiencias y conocimientos adquiridos, estaremos rompiendo alguna de las muchas barreras de la mediocridad, ayudando a quienes se interesan en ampliar sus conocimientos de navegación a vela, y a provocar inquietudes a quienes creen saberlo todo.

1.- Los Fluidos

Hablaremos sólo del aire y del agua, fluidos que siempre estarán presentes en nuestra actividad. Una embarcación a vela funciona como tal en la zona de unión de estos dos fluidos, parte del casco en agua y la obra muerta en el aire.

Nadie puede pretender obtener un rendimiento aceptable o una buena velocidad, si no conoce el comportamiento de estos elementos cuando entran en contacto con las velas y con el casco.

Haciendo un paralelo con otro tema que me apasiona: Nadie puede manejar un vehículo con doble tracción en el Mar de Dunas, como las del Desierto de Atacama si no conoce la capacidad del vehículo en cuanto a potencia, agarre, estabilidad, y las características de la arena, que cambia con la temperatura, con el tamaño del grano que la conforma, con la pendiente. Un piloto no puede pretender ser el mejor o al menos estar en el grupo de la punta, aun cuando tenga la mejor máquina, si no conoce la acción del viento en la formación de embudos y cuchillos, de sopas y tolucos y a tal extremo, que no necesite conocer el lugar para saber que tipo de obstáculo o dificultad existe después de un portezuelo o con que tipo de pendiente o arena se encontrará después de una larga trepada.

En el Mar de Dunas nadie se hunde, pero se entierra, se vuelca o se pierde.

En el mar nos ocurre lo mismo, el conocimiento del viento, del agua, de la embarcación y de sus aparejos nos proporcionarán seguridad y la alegría de estar en el grupo de los mejores.

Cuando navegamos en rumbos a favor, con vientos portantes, el viento actúa sobre las velas, casco, tripulantes y en general sobre toda la arboladura, favoreciendo nuestro andar. El agua nos frena. En una ceñida apretada contra el viento ambos elementos nos frenan, sin embargo nuestro barco se mueve. ¿Cuál es la causa?

Partamos por el principio:

El aire:

La teoría cinética molecular postula que la materia en general está formada por pequeñas partículas llamadas moléculas, las que se encuentran en permanente movimiento y cohesionadas de alguna forma entre sí. A temperatura y presión normal, la magnitud de esta fuerza de cohesión determina si se trata de un sólido, de un líquido o un gas.

Los gases se comportan como conjuntos formados por un enorme número de moléculas que se mueven libremente chocando unas con otras en forma absolutamente desordenada.

En un gas, el tamaño de las moléculas es pequeño en comparación con la distancia que las separan como promedio de otras moléculas o del receptáculo que lo contiene.

La interacción entre moléculas se manifiesta en fuerzas de atracción y de repulsión. Para comprimir un volumen de gas se necesita vencer la fuerza de repulsión molecular, y si de expandirlo se trata, la fuerza aplicada debe trabajar en contra de la presión barométrica, de la fuerza que entrelaza a las moléculas, en contra de la débil cohesión molecular, y “de energías, espacio, tiempo, temperatura” (teoría cuántica, que no discuto)

Las moléculas de aire que se encuentran a ras de suelo, aparte del movimiento propio, están siendo “aplastadas” por el peso de millones de moléculas que se sitúan más arriba que ellas. Formar un espacio vacío o volumen sin moléculas en esa zona requiere un enorme trabajo, que jamás se consigue con los métodos y herramientas que se disponen actualmente.

Un espacio o volumen vacío se define como aquel en que no existe choque de moléculas. Sin embargo no vamos a entrar en la discusión que inició Aristóteles en su libro “Física” que siguió Torricelli y que hasta hoy perdura entre los filósofos y matemáticos cuánticos.

Cuando una masa de materia se calienta, las moléculas experimentan una aceleración en sus movimientos por lo que el cuerpo aumenta de volumen. La materia en estado gaseosa es más sensible que los cuerpos sólidos a los cambios de volumen cuando experimentan un cambio de temperatura.

No es lo mismo navegar inserto en una atmósfera fría que cuando lo hacemos en una zona de altas temperaturas.

Al calentar una masa gaseosa se produce un gran cambio de volumen para la misma cantidad de moléculas, y por lo tanto para un mismo peso. Las moléculas aumentan sus movimientos y ocupan mayor espacio. Dicho de otra forma, un metro cúbico el aire caliente en estado libre, es más liviano que un metro cúbico del mismo aire frío, porque la cantidad de moléculas es menor.

Si ese metro cúbico está envasado y aumenta la temperatura, interiormente aumenta la presión del aire sobre las paredes del envase y su peso se mantiene inalterable.

Sobre esta base podemos decir que la presión que un gas ejerce sobre las paredes del receptáculo que lo contiene, es producto de los choques de las moléculas en contra de las paredes del receptáculo.

A diferencia de los cuerpos sólidos, que tienen una forma definida, los fluidos son masas de moléculas en movimiento sin forma definida.

2.- Propiedades Físicas del aire.

2.1.- Peso del aire

El peso es la atracción que ejerce la fuerza de gravedad sobre **la masa** de un cuerpo. Peso específico es el peso de un volumen conocido de masa.

Peso específico del aire = 1,2927 Kilos por m³, medidos a presión atmosférica al nivel del mar, a cero grados de temperatura y a 45° de latitud y completamente seco.

El mismo aire con 5% de humedad pesa 1,267 k/m³.

Y con 30% de humedad pesa 1,162 k/m³.

Esto nos revela que el aire húmedo pesa menos que el aire seco.

A mayor temperatura el aire se hace más liviano aún y más viscoso.

Esto explica las diferencias de navegar de día y noche, en el sur de nuestro país, en el centro o en las húmedas y cálidas zonas tropicales.

Un amigo laserista me preguntaba por las razones por las que sentía mejor el bote cuando navegaba al crepúsculo que a medio día con el mismo reglaje en los ajustes de su vela. El trimado, la profundidad de la vela y otras características deben ajustarse permanentemente con las condiciones del aire y agua, cuyas viscosidades cambian con la temperatura. Nunca las marcas o reglaje de las velas deben ser definitivas, debemos tenerlas, pero sólo deben considerarse como referencias.

Para los cálculos en estos apuntes emplearemos un peso específico del aire de $1,20 \text{ k/m}^3$, que es el peso aproximado a 16° de temperatura.

Existen fórmulas para calcular el peso específico del aire en otras latitudes, y a otra altura sobre el nivel del mar, pero está fuera de nuestro propósito.

2.2.- Compresibilidad del aire.

Por convención el aire en estado libre es incompresible. La convención entre los físicos, estima que es incompresible cuando por una acción mecánica externa provoca un cambio de volumen inferior al 2%.

Si en un cilindro con un pistón se encierra un determinado volumen de aire, y se acciona el pistón, en un sentido comprime el aire y la fuerza que ejerce el aire comprimido se debe a la fuerza de repelencia intermolecular. Si se mueve en el otro sentido, la fuerza se ejerce en contra de otras energías propias del fluido.

Si el volumen es ocupado por agua, el volumen se mantendrá, porque para fuerzas normales el agua es incompresible

2.3.- Viscosidad

Es la capacidad de una capa de fluido de arrastrar a la capa vecina cuando se presentan las condiciones de derrame.

La viscosidad tiene una enorme importancia en la acción del agua y del aire en contacto con el casco y con toda la obra muerta de nuestros veleros (con la capa límite) y establece relación directa con el freno que los fluidos oponen al movimiento de un objeto inserto en él.

La viscosidad disminuye con el aumento del calor en los líquidos, pero aumenta en los gases.

La viscosidad del agua fría opone mayor resistencia al casco que el agua tibia, pero el aire frío opone menos resistencia a las velas mástil y cabos por roce pero más freno por forma o presión directa.

2.4.- Adherencia

Los fluidos tienen la capacidad de adherirse a los objetos con los que toman contacto, del mismo modo que dos placas metálicas absolutamente pulidas lo hacen cuando entran en contacto.

La adherencia explica entre otras cosas que el agua moje a un objeto. Sin embargo existen líquidos que no mojan.

2.5.- Cohesión molecular

Es la fuerza con que se atraen las moléculas de un cuerpo. La cohesión molecular determina si una sustancia es sólida, líquida o gaseosa.

El agua tiene mayor cohesión molecular que el aire. El valor de la cohesión del aire es muy poco pero existe y se manifiesta nítidamente a bajas temperaturas en condiciones de licuefacción.

2.6.- Capa límite (Prandtl 1904)

Es aquella delgada capa de fluido adherido a un cuerpo. Cuando un cuerpo se desplaza a través del aire o del agua, permanece adherida a la superficie del cuerpo una delgada lámina de agua o de aire a la superficie del cuerpo que llamamos capa límite. En la capa límite el movimiento de las moléculas adheridas es entre cero y 1% de la velocidad del objeto. Ese rango de velocidad define el espesor de la capa límite. Lo más importante es que sólo en esta capa se manifiestan los fenómenos relacionados con la viscosidad.

Curiosamente este importantísimo fenómeno aplicable 100% en la navegación, que fue descubierto por Ludwig Prandtl a principios del siglo veinte y de gran aplicación en cálculos hidráulicos, por cualquier motivo y erróneamente, no ha tenido mayor aplicación en diseños de velas para la navegación y en otras disciplinas, tal como podemos apreciar en los muchos libros de navegación que existen actualmente. Intentaremos en estos apuntes ver la aplicación de este fenómeno físico y como afectan a cada parte de una embarcación, especialmente en la forma y dimensión de casco y velas.

La aplicación del concepto “capa límite” a los fenómenos de la navegación cambia radicalmente lo que hasta ahora sabemos.

La capa límite del parabrisas de un vehículo en movimiento permite a una pequeña mosca ir parada sin que se muevan ni siquiera las alas.

2.7.- Cantidad de movimiento de un Fluido.

Un flujo es una cantidad de masa en movimiento. La masa en movimiento tiene una inercia que se mide en el trabajo que debe realizar una fuerza para reducir su velocidad a cero. Los flujos tienen energía que se traspara a las velas y se transforma en movimiento y en otras manifestaciones de la energía.

Para efectos de cálculo da lo mismo que un objeto se desplace inmerso en un fluido o que el fluido se desplace alrededor de un objeto estacionario.

3.- Energía del aire, y del agua.

La energía mecánica que los fluidos pueden generar se debe a la energía potencial, a la energía cinética y a la calórica.

De las energías del aire y del agua, la que nos importa es la que se obtiene por la cantidad de movimiento o inercia de una masa de aire o de agua que se desplaza, o sea la energía cinética. Esta es la que necesitamos captar del viento para convertirla en movimiento, y la que debemos vencer en el caso del agua.

Al igual que los sólidos, la energía cinética que un fluido posee es función de la velocidad y de la masa que posee.

A quienes les importa, optimizar o aprovechar al máximo esa energía para transformarla en movimiento, deben entender y manejar algunos conceptos teóricos que van en ese sentido, y sobre todo navegar no sólo para practicar, o mantener un buen estado físico, sino para observar aquellos fenómenos físicos y entender como se traspara esa energía a nuestro bote a través de las velas, y como optimizamos el recurso con la forma que debemos darle y la posición respecto a la acometida del viento para obtener mayor velocidad o mayor potencia.

Debemos saber desde ya, al revés de lo que siempre escuchamos, que para lograr mayor velocidad en el bote, tan importante como la energía que podemos capturar, es eliminar el freno que nos provocan los fluidos.

Una buena forma de vela se diferencia una mala forma de vela para captar energía, en 30%, sin embargo el arrastre o freno, para un mismo viento, varía en..... ¡¡ 300 %!!. En el agua ocurre otro tanto. Como para considerarlo.

En un sistema cerrado, la energía cinética de un cuerpo no desaparece al cambiar de trayectoria o de posición, sólo se transforma en otra energía. Aclaro que no nos meteremos en el tema cuántico, energía, materia, ondas, calor, espacio, tiempo, etcétera, porque eso es para los filósofos y matemáticos de otro nivel. Ellos no navegan en el agua.

En los sistemas de energía abiertos o al aire libre, como ocurre mientras navegamos, la energía que captamos a través de las velas, se emplea en agitar agua por la popa, en vencer el roce con el agua, en abrir y cerrar el agua que enfrentamos con el casco, en recuperarnos del choque de las olas, en abatimiento o sea en desplazarnos hacia el costado, en inclinar o escorar la embarcación, en formar olas parásitas que nos acompañan mientras nos movemos, en vencer la oposición del aire el la arboladura, y en nuestro cuerpo, en agitar el aire formando turbulencias y vórtices, **y finalmente la escasa energía que aun queda, la transformamos en movimiento en el sentido que deseamos.**

No nos parece justo tanto esfuerzo para aprovechar sólo una pequeña parte de la energía en desplazarnos. Pero conocer estos importantes detalles que nos frenan y aprovechar esa exigua energía que nos resta, y cómo minimizar el despilfarro, es lo que hace la diferencia entre los que andan más rápido, los campeones, los exitosos y el resto de la manada.

Los campeones saben de regatas, de partida de pasadas de boya de táctica, y eso es importante aprenderlo y practicarlo en todos los escenarios.

Tener un bote rápido, mas rápido que otros botes iguales es una gran ventaja. A veces ese importante detalle que no se aplica oportunamente es el que falta para ser campeón olímpico.

Es común escuchar que nuestros campeones navegan varias horas al día para mantener el estado físico, y otros no campeones para gastar energías. Sin embargo para que una preparación sea completa, debe ir acompañado de mejoras técnicas y conocimientos en el manejo de la vela que siempre son incompletos, de darle forma adecuada según las condiciones de viento, mar, temperatura del aire y del objetivo que se pretenda, de darse cuenta cuando un elemento como un mástil está fatigado, o que un cabo no es el adecuado, o hasta donde puede pedirle a sus velas, o que el equilibrio del bote ha cambiado. Analizar la ropa o abrigo para mantener la energía, de la deshidratación que te hace pensar o tomar malas decisiones, etc.

Al gerente de una empresa, le interesa conocer el producto obtenido, a un presidente de la república, las mejoras en el estándar de vida y salud, y al capitán de un velero en regata, la posición en que terminan después de una competencia. A todos les interesan los resultados más que enterarse del listado de excusas por las que no se logró el objetivo perseguido. Eso sólo sirve para conocer a los que no cumplieron con la responsabilidad que les cupo en la parte del proyecto.

“El campeón de las excusas suele ser también el rey de los incapaces”

Navegar es un arte. Navegar por navegar es útil y entretenido, pero si quieres ser campeón o el mejor, debes navegar para conocer y mejorar el rendimiento en cada rumbo y bajo toda condición en agua dulce o salada, con olas, mar quieto y corrientes, con y sin viento, sólo y con una gran flota, hasta entender las causas que frenan y las que impulsan una embarcación.

Conociendo como funciona nuestro bote, velas, orza mástil, ajustes y la relación velocidad-

abatimiento, aprenderemos las ventajas y limitaciones de nuestro bote en el agua. No habrá necesidad de recurrir a excusas.

Aprender a conocer nuestras propias falencias físicas y mentales nos permitirá saber hasta donde podemos arriesgar en una determinada empresa o mantener determinada posición. La única excusa válida nace cuando pasan los años y nos ponemos viejos.

La inteligencia suele permanecer en los hombres más allá de la vejez. Inteligencia, experiencia y sensatez forman un cóctel que no se compra, sólo se tiene y mejora con los años. A veces los viejos provocan sorpresas y ganan.

Aprender y mejorar las técnicas, de viraje, de pasadas de boya, para pasar olas y turbulencias, para partir bien, para escapar de presiones y ataques de los otros competidores, para saber a quien tratar de ganar o cuidar que no se escape nuestro más cercano en puntuación con un resultado inesperado y de tantas técnicas en aprovechar esos pequeños e importantes detalles, hará que estemos entre los mejores en el arte de la competición.

En estos apuntes tratamos algunos temas que van en esa dirección y espero que contribuyan al éxito de los navegantes competitivos.

Entendiendo como se comportan los elementos y como nos afectan en la navegación, podremos aprovechar sus ventajas y además prepararnos para enfrentar sus violencias.

4.- El viento.-

En el apartado anterior vimos algunas de las propiedades de los gases y las relacionamos con volumen de dimensiones limitadas, pero en estado libre las partículas se desplazan hacia donde les signifique el menor esfuerzo. Las partículas de aire son la definición más pura de la libertad, pero aquella que no requiere de espiritualidad ni fortuna.

El viento se define como el desplazamiento horizontal de una masa de aire por sobre la superficie de nuestro planeta. Al desplazamiento vertical de una masa de aire se llama **corriente.**

Desde mi punto de vista, podemos distinguir en la naturaleza enormes o grandes desplazamientos: **los macro desplazamientos de masas de aire**, que preocupan a los pilotos de aviones que navegan a gran altura, que definen rutas y que determinan el clima sobre el planeta Tierra, y **movimientos de masas de aire a menor escala**, que preocupan a los pequeños aviones con hélices, a los que practican vuelo a vela, y que son los vientos que nos permiten navegar a ras de la superficie de las grandes concentraciones de agua. Es el tema del que se preocupa **la Aerología.**

4.1.- Los grandes movimientos de masa de aire.

4.1.1.- Efecto del calor del Sol sobre la atmósfera.

La atmósfera es la **capa de aire** que envuelve a la Tierra y el espesor estimado es de 75 kilómetros. Otros dicen 120 kilómetros. Para nosotros lo importante es que exista a menos de 5.000 metros y limpio.

El 75% del aire se encuentra como promedio en los primeros 10.000 metros de altura y de esta masa de aire, el 50% está en los primeros 5.000 metros de altura que es el límite máximo adecuado para respirar normalmente.

La mayoría de los humanos vivimos y respiramos dentro de estos 5.000 metros de la misma forma que las especies marinas lo hacen en igual espesor de agua. De ahí la importancia de mantener limpio el medio en que vivimos.

No todo el aire se reparte homogéneamente sobre la superficie terrestre. El aire se mueve en enormes masas que son diferentes entre sí, porque tienen diferentes estados de presión, humedad y temperatura. Estas masas de aire se encuentran permanentemente en movimiento, no se mezclan con

las otras masas y cuando entran en contacto, de acuerdo a las características que tengan provocan en la zona de roce, tormentas eléctricas, precipitaciones y distintos fenómenos físicos y climatológicos.

Por tal razón, la temperatura, humedad y presión cambian constantemente de una zona a otra, especialmente dentro de la troposfera (capa atmosférica más cercana a la Tierra)

El espesor promedio de la troposfera es de 7.000 metros en los Polos, de aire frío y seco, y hasta 25.000 metros en el Ecuador, de aire caliente y húmedo. Esto siempre está cambiando, por eso hablo de promedio.

El desplazamiento de estas enormes masas de aire se debe a los efectos del Sol sobre la Tierra, que calienta cada día con distintos ángulos de incidencia, de modo que en determinados momentos en un punto del planeta el Sol apunta perpendicularmente y en el lado opuesto reina la oscuridad. Por un lado calor, y por el otro frío, es decir por un lado aire que se torna liviano y se eleva y por el otro lado aire pesado que baja atraído por la gravedad, y que se desplaza para equilibrar la cantidad de materia. Estos desplazamientos definen el viento de las grandes masas.

El Sol no calienta directamente a la atmósfera. Dado que la troposfera es transparente para los efectos de la radiación solar que llega a ella, el aire se calienta por el calor que irradia la superficie terrestre.

La superficie terrestre es calentada por la radiación, que llega a nuestro planeta emitida por el Sol, y que abarca longitudes de onda correspondientes a los rayos X, los rayos ultravioletas, y las ondas de radio. A la vez, la superficie terrestre calentada por el Sol emite radiaciones caloríficas de onda larga, infrarroja que si es captada por el aire y en especial por el anhídrido carbónico y el vapor de agua, calentando de este modo la baja atmósfera.

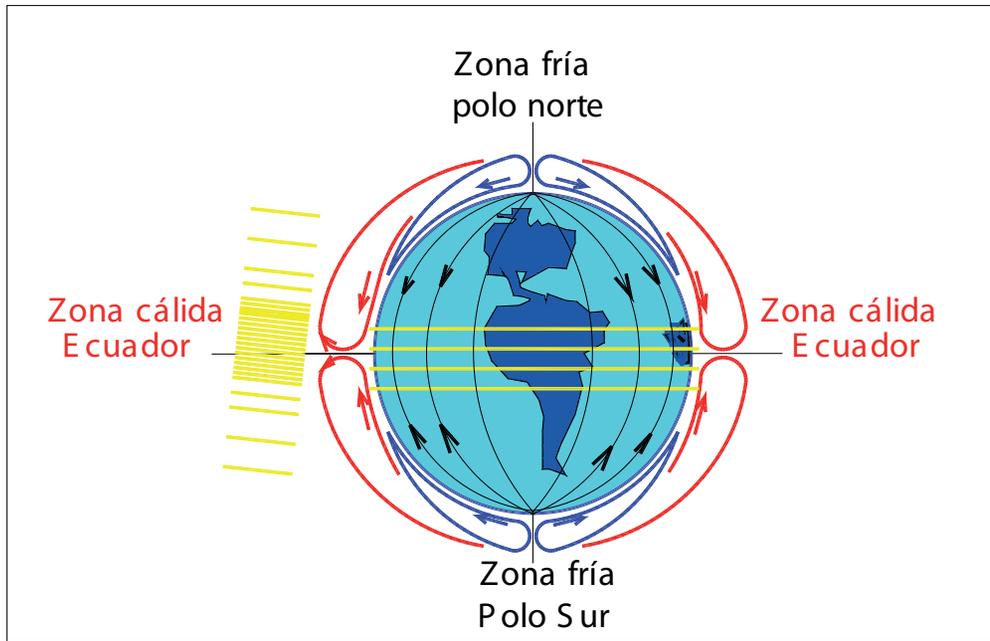
El efecto de esta radiación calórica de la Tierra alcanza hasta una altura promedio de 12 kilómetros, en donde se concentra la mayor cantidad de aire atmosférico y el 90% del agua atmosférica. Este efecto determina la primera capa atmosférica terrestre llamada **troposfera**.

4.1.2.-Circulación general de la atmósfera

Podría pensarse que en las regiones ecuatoriales, el aire calentado por la irradiación de los rayos infrarrojos del suelo, tendería a elevarse por ser más liviano o desplazado por el aire más frío, pesado y más denso de los polos.

Eso implicaría el establecimiento de una célula convectiva única en cada hemisferio, con viento frío descendiendo y recorriendo la superficie de La Tierra hasta llegar al Ecuador, en donde aumentaría la temperatura para elevarse nuevamente.

Si así ocurriera, un pequeño cálculo aritmético indicaría que los vientos en las regiones polares estarían permanentemente soplando a velocidades cercanas a los 500 kilómetros por hora.



Esquema de células convectivas únicas en cada hemisferio.

La rotación de La Tierra hace que ello no sea posible y que la realidad sea mucho más compleja. Por un fenómeno de tipo físico, los cuerpos que se desplazan en el sentido del eje de rotación, es decir los que se desplazan modificando su latitud, o por la superficie de una esfera en rotación, sufren una desviación lateral.

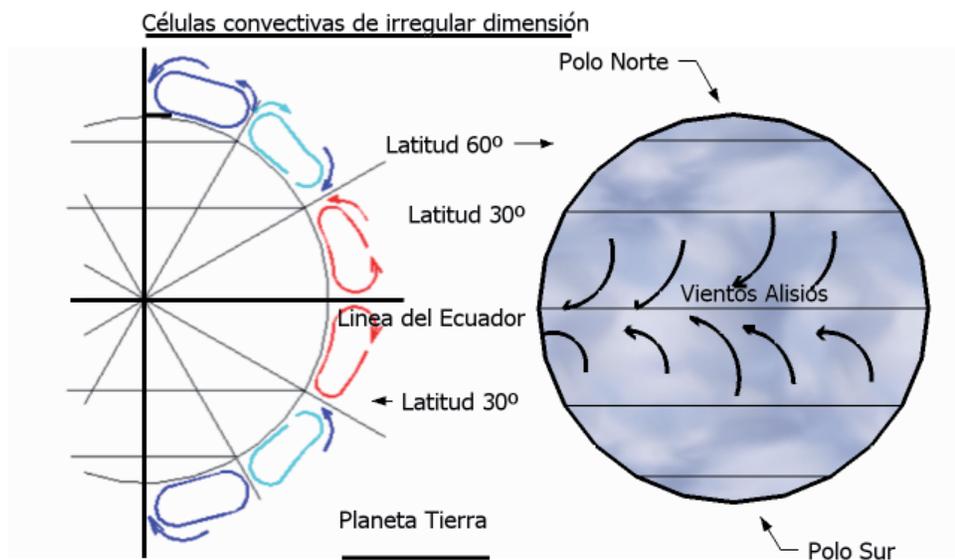
Esta desviación denominada efecto “**Coriolis**” es una consecuencia de la distinta velocidad tangencial de los sucesivos paralelos terrestres. En los Polos el efecto es menor que en las pequeñas latitudes y máximo en las cercanas al Ecuador.

La desviación de un móvil que parte de los Polos rumbo al Ecuador es hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio Austral (como la tendencia actual de los gobiernos de América en el inicio del siglo 21)

Por esta razón, los desplazamientos de las masas de aire polar y ecuatorial, no llegan al destino previsto. En su trayecto, las masas ecuatoriales, que se desplazan a gran altura se enfrían y descienden. A su vez las masas polares aumentan su temperatura y se elevan generando tres nuevas células convectivas en cada hemisferio. El resultado es que los vientos en la superficie terrestre alteran su dirección con la latitud, según se indica en el croquis.

Nacen de esta forma los vientos Alisios, los Westerlies y Levantes Polares, en el hemisferio Norte y sus homónimos en el hemisferio Austral.

Esquema de circulación general del aire



Las masas frías pesan más que las cálidas que son ascendentes. La presencia de las primeras significa un aumento de la presión barométrica, y al revés, las ascendentes corrientes cálidas generan zonas de baja presión en la superficie del planeta.

La principal alteración a este esquematizado tratamiento del movimiento de las grandes masas se debe al calentamiento de grandes extensiones de suelo, como al interior de los continentes.

Por ejemplo en la zona del Sahara se generan grandes temperaturas y por lo tanto una enorme masa de aire ascendiendo. Los efectos de esta alteración han sido estudiados por la N.A.S.A. porque con razón suponen que los grandes tornados que llegan a la zona del Caribe tienen su origen en esas zonas.

En nuestro hemisferio Austral, las células convectivas provocan zonas de alta presión, alta calida, o anticiclón subtropical, que corresponde a la zona en donde desciende el aire que estuvo ascendiendo en el Ecuador, como la que tenemos en el Norte de Chile y Sur del Perú, que establecen permanentemente buen clima estabilidad en la zona Norte y vientos suaves del Este al Oeste llamados Alisios.

La distinta posición del Sol durante un año respecto a la latitud de la Tierra, establece que estas células convectivas se trasladen más al Norte (invierno austral), generando en la zona central y Sur de nuestro país (cerca a la latitud 35° Sur) zonas de bajas presiones e inestabilidad.

En términos simples, en verano el cinturón subtropical permanente ubicado en +/-30° Sur, al desplazarse hacia el Sur, comprime en contra del Polo Sur, a la célula intermedia y ordena las presiones. Al desplazarse hacia el Norte, en la zona intermedia genera vacío, baja presión e inestabilidad.

En invierno, la zona Sur que era estable, se transforma en un cordón alternado de centros de alta y bajas presiones de características migratorias, desplazándose de Oeste al Este a velocidades promedio de 500 km. por día. El viento oceánico bajo estas condiciones va preferentemente de Oeste al Este con muchas variaciones.

La sucesión del paso de centros de altas y bajas presiones que se desplazan por la zona central y sur de Chile establece una alternancia de buen y mal tiempo. En el verano austral, el anticiclón subtropical se traslada más al Sur, latitud 40 a 45 Sur, (hasta Chiloé) estableciendo más al Sur una suave disminución de la presión barométrica, alineando las isobaras en dirección Este Oeste. El viento oceánico en esa zona será preferentemente del Norte hacia el Sur girando al Oeste. En la costa siempre las cosas cambian.

4.1.3.- Efecto Planeta Tierra

Cuando navegamos placidamente sobre el agua o caminamos sobre un verde césped, no podemos imaginarnos o sospechar siquiera que estemos insertos en un sistema que de tranquilo tiene poco o nada.

Nuestro planeta Tierra gira a la no despreciable velocidad de **460 metros por segundo** en la zona ecuatorial y cero en los polos.

Se desplaza en su órbita a la increíble velocidad de **30 kilómetros por segundo**. De Santiago a Buenos Aires en poco más de 1 minuto.

La verdad es que sólo pensar en tamañas velocidades siempre me ha dejado perplejo y para no sentir angustia ni tan insignificante frente a tamañas dimensiones, en mi diario vivir prefiero ignorarlas.

La superficie de La Tierra tiene zonas cubiertas por mares, y por una geografía terrestre totalmente irregular que modifica la trayectoria de las masas de aire que se desplazan a baja altura.

Si nos detenemos a pensar en tamañas dimensiones y en lo irregular de la superficie terrestre, podemos comprender la complejidad de la circulación atmosférica general que regula y equilibra los desequilibrios que se producen. Más difícil aun resulta tratar de entender las leyes que rigen los vientos que nos toca percibir a nivel del suelo; los que reciben las velas.

4.1.4.- Rumbo del viento en altas y bajas presiones.

El viento generado por diferencia de presión atmosférica entre dos masas de aire, recorre a veces enormes distancias y nunca su rumbo es recto.

El viento que se dirige desde los centros de alta presión o anticiclones, hacia los de baja presión, lo hace girando debido al efecto Coriolis. Al menos así lo afirman los expertos.

Sin embargo debemos aclarar que el sentido de rotación no tan sólo depende del hemisferio en que se produce el desplazamiento sino que es función de otros factores.

En nuestro hemisferio Austral, un flujo de aire frío que se desplaza de un centro de alta presión a una de baja presión, lo hace descendiendo y girando hacia la derecha, en el sentido de los punteros del reloj. Coincide con la circulación del agua, o de un remolino en el agua cuando va hacia un desagüe. Pero cuando el aire cálido se eleva, lo hace girando al revés o sea contrario al sentido de las manecillas de un reloj.

Gráficamente se llama isobaras a las líneas que unen puntos de igual presión en la atmósfera, de modo que un centro de presión se representa o se reconoce por la disposición de curvas concéntricas a él.

La combinación entre la fuerza centrífuga, el efecto Coriolis y la diferencia de presión, definen la dirección e intensidad del viento.

El viento circula en ángulos cercanos a los 20 o 25 grados respecto a estas líneas isobáricas con tendencia a separarse hacia afuera cuando se aleja del anticiclón, y hacia adentro cuando se acerca a los centros de baja presión o borrascas.

La ley de Buys Ballot dice al respecto que: “De cara hacia el viento, las bajas presiones quedarán hacia la izquierda y un poco atrás, mientras que las altas presiones estarán a la derecha y un poco hacia delante” En el hemisferio Norte, la cosa es al revés.

La verdad es que para que funcione, mucho depende de donde se ubique el observador. El viento que recibimos en la superficie del mar graficado en el croquis anterior, puede ser frío porque es el que está desplazando al cálido o es el cálido que se desplaza normalmente.

Poner reglas que aseguren el comportamiento de un fluido tan inestable y libre como el aire suele ser una aventura.

La meteorología es una ciencia que “honestamente” trata de predecir los fenómenos meteorológicos.

Los que menos se equivocan son los que se especializan en una determinada zona de la Tierra.

Por eso cuando deseamos iniciar una navegación, aun cuando llevemos de tripulante a un experto meteorólogo, siempre debemos consultar por las condiciones con las que tendremos que enfrentarnos en el día de mañana.

Existen muchos lugares en internet que hacen meteorología con la ayuda de satélites especializados. Sin embargo nuestros amigos que navegan por el mundo y que suelen aparecer por nuestro Club de Yates, nos cuentan que ellos también suelen equivocarse, pero menos.

4.2.- Capa límite atmosférica.

Por analogía con la definición de capa límite entregado para los fluidos, a la región de la atmósfera donde se detecta una acción directa de la superficie terrestre, sólida o líquida, se le conoce con el nombre de “capa límite atmosférica”. Podría decirse que esta capa se forma como consecuencia de las interacciones entre la atmósfera y el suelo o superficie terrestre.

Esta capa se considera turbulenta de manera que en cualquier punto de ella se observan variaciones bruscas en la velocidad, la presión, la temperatura o la humedad del aire. (M. Castro, R. González, y A. Portela)

El espesor de esta capa es de 30 a 3.000 metros medidos desde la superficie terrestre y depende de un gran número de factores como el calentamiento terrestre, fuerza del viento, rugosidad del terreno, etc. Sin embargo los procesos a pequeña escala que tienen lugar dentro de esta capa son muy importantes. Todos los fenómenos meteorológicos a gran escala y en la circulación general de la atmósfera surge o se transmite a través de la capa límite atmosférica (CLA)

El conocimiento de esta capa de aire turbulento ha sido motivo de estudios con aplicación de complejas ecuaciones matemáticas para mejorar el pronóstico meteorológico. Sin embargo su característica turbulenta siempre la convierten en impredecible.

4.3.- Vientos a menor altura:

Es el viento que sopla bajo los 1.000 metros de altura sobre el mar y a 2.000 metros de altura sobre el nivel del suelo en los continentes y cuyas características dependen de los grandes desplazamientos de viento, de los accidentes geográficos, de las corrientes ascendentes que provoca el calentamiento de la Tierra, y de las diferencias de temperatura entre la superficie del mar y zonas frías como nuestra helada cordillera.

En nuestro país el viento proveniente de cualquier lugar es afectado fuertemente por la Cordillera de los Andes, por la corriente de Humbolt, y por la cordillera de la Costa, por depresiones, valles, y por las mareas atmosféricas que determina la Luna, de la misma manera en que actúa sobre las grandes masas de agua.

El viento que sopla en el mar es diferente al viento que existe en el mismo momento en el continente, porque:

- No existen en su superficie del mar grandes obstáculos que convulsionen y frenen su desplazamiento,
- La diferencia de temperatura máxima y mínima en el mar es menor, porque el agua de mar absorbe calor para cambios químicos, y
- El gran aumento de la temperatura de los continentes provoca corrientes que se elevan a gran altura desfilando cualquier rumbo establecido.

El viento de la costa, que es que principalmente empleamos en regatas está alterado por los factores mencionados y determinan cambios de rumbo y de velocidad y por rachas o turbulencias de todo origen.

Las grandes masas de aire que se desplazan por sobre la superficie del planeta buscan equilibrar las zonas de bajas presiones.

Para establecer reglas del comportamiento de las grandes masas de aire están los meteorólogos. Para analizar lo que sucede en una pequeña bahía o una determinada zona en donde se sabe que la gran masa se desplaza desde el Weste están los que desean ganar regatas.

Lo que está claro que el viento busca pasar por donde le signifique menos trabajo, y que detesta ir en contra de la fuerza de gravedad.

Frente a un obstáculo como una pequeña isla, pasará por los costados más que por arriba. En una garganta formado por dos islotes, el viento pasará aceleradamente por la garganta, y cuando deba forzosamente atravesar una cadena de cerros o una cordillera, lo hará preferentemente por valles bajos y portezuelos.

Cuando deba abandonar la zona costera, de mar a continente, lo hará por las zonas bajas, como la playa, esquivando árboles y edificios que constituyen barreras.

El viento no desea trabajar más que lo mínimo, por eso es que cuando trae un rumbo paralelo a la costa, seguirá recorriendo cada curvatura de la costa evitando trepar cualquier altura.

Las grandes Bahías tienen zonas de “chorros de viento” y zonas con calma. Los chorros de viento se producen en las quebradas que llegan a la bahía, y en general en las zonas de baja altura o cota topográfica y las calmas en las zonas protegidas. Las corrientes superficiales en el agua dependen del viento. Si escogemos navegar en esas zonas para ceñir con más viento, tenemos que saber que también es la zona de mayor corriente de agua en contra. Las corrientes se atraviesan con mucha velocidad, y sobreceñir con corriente en contra puede ser una mala opción.

En Algarrobo, La Herradura, Pichidangui, Caldera, Puerto Montt, La Marina El Manzano, Dichato, con viento del Sur o Sur-weste, el viento fuerte se establece en largas lenguas que acometen por las zonas más bajas, y que serpentean según sea la forma de la costa.

En lagos y represas, el viento fuerte no desciende de los cerros donde nunca subió sino que viene del muro de la represa, y sigue el encajonamiento de los cerros por las partes bajas.

Las pequeñas desviaciones del viento de la costa la establecen las diferencias de temperatura entre superficie del mar y continente.

Si el calor aumenta a medio día, la tierra se calentará antes que el mar y el aire cálido ascenderá succionando el aire de la costa, modificando su rumbo.

Cuando la cordillera registra bajas temperaturas el aire frío que no ha podido descender por el viento establecido, lo hará cuando deje de soplar, y después de una corta calma en la costa aparecerá el Terral, viento frío y seco de la cordillera que puntualmente al atardecer “se descuelga sigiloso y lentamente por los valles y quebradas más profundas hasta llegar a la morada de su amada”.

4.4- El nombre de los vientos.

El viento se denomina según su **origen**, así el viento Norte será aquel que viene del Norte, y Sur el que viene del Sur.

Los vientos también tienen nombres **según la zona** en que se les encuentra, como los vientos polares o los ecuatoriales o los intertropicales como los alisios y monzones.

Los Monzones son vientos que se producen por calentamiento de la superficie de grandes continentes de tendencias áridas, como Africa Central y La India. Se provocan enormes corrientes de masas de aire que atraen desde otras zonas, masas de aire de características diferentes generando lluvias torrenciales e inundaciones.

También adquieren nombres por sus **características**, como los cuarenta bramadores, cerca de Nueva Zelanda, bautizados así porque cuando soplan con violencia provocan un sonido como una sierra cortando troncos. Son famosos por su violencia, por formar olas gigantes y sobre todo porque han hecho llorar a los más valientes navegantes.

El surazo es viento que sopla fuerte desde el sur, y es de características frías. En la zona norte sólo aparece desde temprano en aquellos días despejados de primavera y llega a su máxima velocidad después de mediodía, para disminuir al anochecer. Su presencia desaparece casi completamente en los meses de Abril, Mayo y Junio, época de aguas frías y transparentes.

Sin embargo los Surazos obedecen también a algunas reglas de la Luna, tal como las mareas en el agua, porque siempre la semana antes de la Luna llena, notarán que sopla fuerte y frío por un par de días, y en el período intermedio de Luna naciente, también aparece pero con menos intensidad. Fuera de estas fechas su presencia en forma estable, es poco probable.

Esta observación es útil para programar regatas.

Los Pamperos son vientos que nacen en la Patagonia y avanzan hacia el Surweste. Los Monzones en Argentina y Sur de Chile son famosos por ser vientos calientes que nacen a oriente de la cordillera de los Andes, o por ahí, y desarrollan gran velocidad.

4.5.- Las turbulencias

Mientras navegamos en un rumbo determinado, muchas veces recibimos golpes de viento que nos obligan a soltar escotas para evitar mayores escoras. Las llamamos rachas de viento.

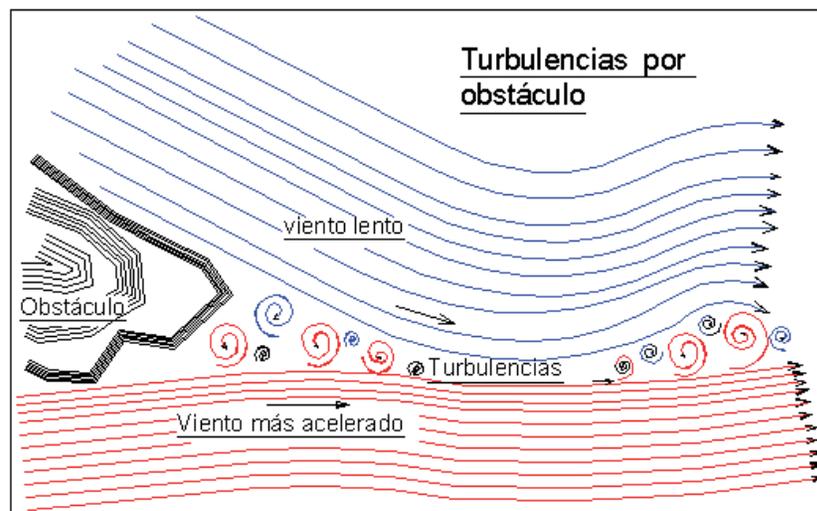
Las rachas son violentas modificaciones del régimen del viento que consideramos normal en la navegación. Son producidas por turbulencias que se manifiestan como remolinos o torbellinos de ejes variables o simplemente por bruscos aumento del viento.

Se pueden distinguir a lo menos tres tipos de turbulencias de origen aerológico:

- de obstáculo,
- de cizalladura, y
- térmicas.

Turbulencias de obstáculo.

Como su nombre lo indica, son turbulencias que se encuentran a sotavento de un obstáculo. Este obstáculo pueden ser árboles, edificaciones, penínsulas, cordilleras y también embarcaciones.



Un remolino es un conjunto de células de movimiento circular de aire en torno a un eje, en distintas direcciones que puede tener pequeñas o enormes dimensiones, como huracanes de varios kilómetros de diámetro, o tan pequeñas que se convierten directamente en calor.

Una vez generado el remolino, este viaja empujado por el viento hasta desaparecer como pequeñas turbulencias.

Un obstáculo genera remolinos por sotavento y aceleraciones en las zonas próximas o costados del obstáculo. Si estamos atravesando una de estas zonas, primero sentiremos un fuerte incremento de viento que infla e impulsa a nuestras velas, y después un brusco vacío que nos tirará las velas hacia la cara. Si el obstáculo es grande como una isla, la opción es arrancar de ese rumbo y virar, pues en caso contrario quedaremos metidos en un verdadero hoyo.

Turbulencias de cizalladura

Son aquellas que se producen por contacto de dos masas de aire que se topan en distintas direcciones o a distinta velocidad. Es común que ocurran en sectores costeros principalmente en el encuentro entre un viento establecido y las brisas que se generan por diferencia de temperatura.

En sentido inicial de giro del remolino lo determina el flujo que tiene más velocidad. Observe lo que sucede con un afluente al desembocar en un río de mayor caudal. La zona de contacto esta afectada por los efectos de corte o de cizalladura que estamos analizando.

Turbulencias térmicas

El sol calienta con la misma energía al agua de lagos y mares y a la zona continental. Sin embargo porque el agua refleja con espejo o porque la utiliza en evaporar o cambiar su composición molecular, (propiedad del agua de mar) la temperatura no sube en forma importante. Sin embargo la tierra, los bordes de bosques, áreas con rocas, poblaciones, campos de matorral bajo, superficies asfaltadas, son excelentes lugares para calentar el aire, que como perfectas burbujas se elevan provocando corrientes ascendentes.

Las corrientes ascendentes generan como contrapartida corrientes descendentes de aire más frío, que bajan como un cilindro que envuelve a esta corriente ascendente. Al llegar al nivel del mar o al suelo, toman rumbos horizontales que modifican el curso del viento de régimen normal.

Cuando se producen estas corrientes térmicas y se establece un sistema continuo o permanente, se elevan formando un remolino de eje vertical. Este sistema provoca ahora un obstáculo que acelera el viento en el costado en que coincide con el giro, y mayores turbulencias en el otro.

Es difícil ver estas turbulencias mientras se navega. Sin embargo la lectura previa en el agua puede ayudarnos. Mirando el agua superficial o el giro de los pájaros que vuelan en contra de la circulación y que disfrutan esta térmica. Pero esto tampoco es tan exacto, porque no sabremos en que parte de este sistema que gira tomaremos contacto, antes o después del eje, y que naturalmente para complirnos la vida siempre son en rumbos opuestos.

4.6.- Velocidad del viento

Cuando hablamos de viento se entiende que nos referimos a desplazamientos horizontales. La velocidad del viento se expresa en kilómetros por hora, metros por segundo, millas por hora o nudos. La milla náutica equivale a **1852 metros**, y un nudo es aproximadamente **0,51 m/seg.**

Para medir la velocidad del viento, se emplea un instrumento llamado ANEMÓMETRO, que consiste en una hélice conectada a un puntero que gira en torno a una esfera graduada en metros y de un cronógrafo. Para emplearlo se orienta la hélice en la dirección del viento, indicando los metros que recorre el viento en el lapso de un segundo.



Veleta y Anemómetro

Existen estaciones automáticas o sistemas independientes cuyo funcionamiento está diseñado con circuitos electrónicos. Sin embargo ya estamos en el mundo digital y existen varios modelos de indicadores para visualizar los datos entregados por los sistemas de viento (veleta y anemómetro). Los datos entre el indicador y los sensores se transfieren mediante protocolos de comunicación y son decodificados y mostrados en los diferentes caracteres que tiene el indicador.

Existen sistemas ideados para la navegación que indican la velocidad del viento, el rumbo del viento real y el del aparente.

Para clasificar el viento según su velocidad, los marinos y meteorólogos utilizan **la escala de Beaufort** como patrón. Referido originalmente en metros por segundo, en la actualidad se emplea como unidad los kilómetros por hora de viento real.

El viento más fuerte que se ha medido con algún grado de confiabilidad sobre la superficie de la Tierra tenía una velocidad de 362 km/h y se registró en el monte Washington, en New Hampshire (Estados Unidos), el 12 de abril de 1934. Sin embargo, se producen vientos mucho más fuertes cerca de los tornados. En alturas entre los 10 y 20 kilómetros se han detectado vientos opuestos a los Alisios de 550 kilómetros por hora.

En el hemisferio Austral, no sabemos de máxima velocidad, sin embargo en la zona del Cabo de Hornos, de 365 días del año, sólo hay tres días como promedio de calma y el resto son de violentos vientos que duran muchos días, que provocan desordenadas y gigantescas olas.

4.7.- Dirección del viento a nivel de suelo

A ras de suelo existe una capa límite igual que en cualquier cuerpo expuesto a un fluido. Esta capa es siempre turbulenta y adquiere espesores que pueden tener 30 centímetros con viento medio y el espesor definitivo depende de la velocidad y del **fetch**, distancia o longitud terrestre que es afectada por el viento.

A mayor altura el viento comienza a aumentar porque empieza a ser menor el efecto del rozamiento, de forma que si a un metro la velocidad es de 10 nudos, a cinco metros perfectamente puede haber 15 nudos.

No debería importarnos lo que sucede en la playa cuando el viento sopla fuerte, sin embargo saber como reacciona cuando se encuentra con un obstáculo con una forma curvada, como sotavento de una vela, puede ser de interés.

Cuando el viento es fuerte, arrastra partículas de polvo y arenas que al decantarse delatan su trayectoria, como puede apreciarse en la foto:



La foto muestra una terraza de forma curvada. (La Herradura Coquimbo)

Es interesante destacar que el viento no transportó los granos de arena hasta el borde mismo del muro, al igual que al inicio del pasamano.

El viento perdió velocidad ante el obstáculo y la arena que portaba decantó. Las partículas de viento que le precedían se encuentran con el aire de menor velocidad, que ahora se ha convertido en obstáculo y se desvía sin llegar directamente a las paredes. Efecto puro de capa límite en ambientes abiertos.

Esto nos lleva a pensar que el verdadero espesor de nuestra vela no es de un milímetro, sino que debe agregársele el espesor del aire adherido a su superficie.

Este ejemplo es de suma importancia para entender lo que sucede con un sistema de foque y mayor, cuando el canal por donde debe pasar el viento es exageradamente estrecho o estrangulado, tema que veremos en detalle más adelante en estos apuntes.

Es importante también para visualizar lo que sucede con una vela cazada en exceso; el viento se separa de la cara de sotavento, como se aprecia en la foto de la misma terraza curvada tomada desde otra posición.



Podemos adelantar que la capa límite aumenta de espesor a medida que aumenta la distancia desde el punto de ataque o de primer contacto con el sólido.

Este es un tema que por su importancia lo trataremos en extenso más adelante en el capítulo dedicado a la *sustentación*.

5.- Víctimas del viento fuerte.

Cuando sopla viento fuerte, Nuestra Armada siempre procede a cerrar los puertos evitando que nuestros campeones puedan practicar bajo esas condiciones. Esto obedece a que su principal función es prevenir accidentes y resguardar la vida de los hombres de mar y navegantes en general.

Los más afectados suelen ser los Windsurfistas y tripulantes de botes olímpicos, porque cuando les toca regatear en el extranjero con estos vientos siempre están en desventaja respecto a los locales. Como no se sabe con exactitud cuando soplará fuerte, sería interesante pensar en entregar una credencial a quienes estén capacitados o para aquellos que deberán representar al país, o bien coordinar con “la autoridad” con anticipación entrenamientos con todas las medidas de seguridad en aquellos días de viento duro.

color



Puclaro es el nombre de un embalse del río Elqui, a 50 kilómetros de La Serena, que se aprecia en la foto, que es una verdadera bodega de viento. Todos los días sopla fuerte y las temperaturas son muy agradables durante todo el año. Esta foto de abril del año 2006, corresponde a un fin de semana largo. Ahora estoy en el año 2011 y el número de navegantes ha ido en aumento. Recientemente se hizo un campeonato nacional en que participaron más de 100 embarcaciones. El letrero aun permanece inalterable, como la preocupación de las autoridades encargadas del deporte que no resuelven estas trabas.

En cualquier fin de semana se encuentran no menos de 60 embarcaciones menores en el agua, kitesurf y otro número igual descansando en la playa o esperando viento adecuado al ala que disponían. Los fines de semana largos, esta cantidad aumenta.

Chile es un país que cuenta con un enorme litoral al Pacífico, pero los navegantes deportivos son muy pocos. La razón fundamental, aparte de la temperatura del agua, son las dificultades que encuentran para acceder con las embarcaciones al agua, con algún grado de facilidad y de seguridad.

Este letrero es una muestra de los miles que existen en nuestro país, en la ribera de lagos y ríos navegables autorizados para evitar responsabilidades o para no ver la realidad. El letrero de la foto se encuentra en la costa norte del Puclaro bajo el pueblo de Gulliguaica, y espero de corazón que lo reemplacen oficialmente por otro que nos de la bienvenida. Son letreros que prohíben, que limitan la instalación de infraestructura de apoyo para que la cantidad de navegantes aumente.

En nuestra costa existen innumerables playas a las que cuesta ingresar y más aun meter una embarcación.

Existen lagos en que toda la ribera pertenece a particulares y no existe acceso a otros navegantes salvo que seas invitado.

La excepción a tanta dificultad son los pequeños clubes de yates a lo largo de nuestro país que cobijan a quien desee navegar con seguridad.

Sin duda que la otra causa que impide que se inicien mayor número de navegantes es lo abrupto de la costa, con pocas caletas seguras y finalmente la temperatura del agua.

El costo de las embarcaciones menores es algo que cada vez se hace más asequible, no así las embarcaciones mayores cuya mantención, bodegaje, costos de herrajes y repuestos son aun altos para el común de la población.

A pesar de las dificultades, debo confesar que la mejor y más excitante navegación de mi vida la realicé junto a mis hijos en el lago Calafquén, precisamente en un día en que la autoridad cerró el puerto por exceso de viento, que era muy cálido, pero necesitábamos entrenar con viento fuerte y “no vimos la bandera” que cerraba el puerto a toda actividad náutica. En un par de segundos nos alejamos de la costa arriba de las antiguas tablas de regata, División II, para encontrarnos en el medio del lago con grandes olas, muy rápidas y de corto período, hasta que llegamos al otro lado del lago.

Navegamos con velas de dacrón de 6.40 m², recibiendo el viento por la cuadra, en la bajada de las olas, prácticamente sin orza, abatiendo una enormidad para contrarrestar el peso del fuerte viento sobre la vela. La felicidad era total, estábamos afónicos de tanto grito de euforia. Nos duró hasta que llegamos de vuelta en donde estaba “la autoridad” esperándonos...

En Argentina nos tocó regatear en varias oportunidades con “Monzones” o “Pamperos” del Sur-west, vientos cálidos como esos y nuestros resultados siempre fueron exitosos.

Es un tema para mayor análisis en que debe involucrarse la propiedad del suelo costero y las concesiones del agua.

La excepción a tanta dificultad está en el trabajo que estos últimos años ha desarrollado la Federación Chilena de Vela, Fedevela, organismo que permanentemente está impulsando con gran entusiasmo la creación de Escuelas de Velas en todo el país y apoyando el deporte olímpico de la vela.

Hace años sólo se preocupaban de los grandes yates y no de la semilla.

¡Felicitaciones! Esperamos que este gran esfuerzo continúe con las futuras directivas, para alegría de todos los que navegan a lo largo del país.

6.- Mensajes del barómetro

El barómetro nos permite predecir aproximadamente las condiciones meteorológicas o el tiempo, (cuando no tenemos otro recurso, como meteochile.cl o [diretemar etc.](http://diretemar.etc.))

Para el hemisferio Sur :

- Cuando el barómetro indica un **aumento de presión**, tendremos vientos del Weste, Sur-weste, y Sur.

- Cuando el barómetro indica **disminución de presión**, entonces tendremos vientos del Norte Nor-este o Este.

- Si la presión varía entre 8 a 10 mm por encima o por debajo de la normal, entonces tendremos vientos manejables.

- Si la presión varía entre 15 y 20 mm. Por encima o debajo de la media, los vientos serán fuertes y violentos.

Algunos refranes marineros, dicen:

-Barómetro que lentamente se eleva, el viento se lleva.

-Barómetro que baja con suavidad, trae viento y tempestad.

-Tiempo que viene despacio, en irse también es reacio

-Tiempo pronto en declararse, no tardará en ausentarse.

7.- Comentario náutico

A pesar de lo obvio que resulta saber la dirección del viento, como por ejemplo la sensación en la cara o mirar una bandera, la dirección del humo de una chimenea, o la dirección que llevan las olas de viento, cuando se está navegando lejos de la costa no es tan simple determinar con exactitud su dirección, y mucho más difícil cuando escasea y es de noche.

En la superficie del agua un viento diferente al establecido deforma o “mancha la superficie” con una rugosidad que delata su presencia. Es típico ver una racha como una mancha acercándose a nuestro bote. En superficies de agua dulce este fenómeno aumenta. Durante una regata la observación de este detalle es importante para trazar la ruta o escoger el lado favorecido de la cancha.

Cuando el viento es escaso y la superficie está como espejo, la aparición del viento a lo lejos es un gran indicador de su presencia y debemos analizar la conveniencia de virar en su búsqueda aun cuando no sea el trazado lógico para llegar a la boya siguiente, pero tomar ese viento antes que el resto de la flota nos dará una enorme ventaja.

Debemos tener claro que cada racha es un **aviso de cambio en el viento** que tendremos una vez que la hayamos atravesado. Eso incluye intensidad y dirección, por lo que debemos estar atentos al nuevo rumbo que nos permite seguir navegando. Si nos mejoró la altura hacia el objetivo, pensemos en los inconvenientes que podría ocasionarnos más adelante.

Si una vez atravesada la racha nos encontramos con viento de mayor velocidad, estemos atentos para saber cuanto dura esa aceleración, sin olvidarnos de viento que teníamos hasta antes del cambio. Ahora si al otro lado existe menos viento, démosle una pequeña oportunidad antes de virar, porque la posición en que entramos a esta turbulencia puede llevarnos a engaño.

El hecho de estar navegando en aguas con rachas nos debe alertar que puede haber obstáculos que las provocan y que nos interfieren y nos desacomodan el proyecto de velas que llevamos. Esto nos debe llevar a analizar lo que sucede en el otro lado de la cancha o ruta alternativa.

Si la cancha está tapada por una gran península, el viento intentará pasar por todos los costados, y se acelerará especialmente en las depresiones o zonas bajas. Si mirásemos desde arriba, como un pájaro, veríamos de qué manera estos chorros de viento marcan el agua y como se aplana el agua en las zonas sin viento.

Tenemos que recordar que el viento nunca tiene un rumbo recto, menos aun el de la costa, porque es desviado por cada “sirena” que aparece en su recorrido, ya sean estas las corrientes térmicas, las brisas locales los accidentes geográficos, la forma de la costa, etc. Es de vital importancia para diseñar nuestro recorrido en regatas, conocer sus variaciones.

Un atento navegante de bahía, sabe que bajo determinadas condiciones, el viento rolará” hacia el continente, y que cuando baje la temperatura el viento frío de la cordillera o terral en nuestro país, atacará de continente hacia el mar, desviando el rumbo normal del viento.

Si en la mañana sopla desde el Sur-west, y el día es despejado y caluroso, el continente se calentará antes que el agua del mar, por lo que cercano al mediodía seguramente el viento rolará hacia el continente. Si el viento es muy fuerte el efecto temperatura modificará en menor escala que si el viento es suave.

A veces no entendemos por qué en un lago existe viento sólo en la costa y al medio nada. Suele suceder a mediodía cuando el Sol calienta con toda su potencia. La causa es la diferencia de temperatura que provoca corrientes ascendentes.

Si el viento ha desaparecido en un día con mucho sol, la brisa térmica comenzará a manifestarse como viento cerca de la costa, por lo que en esos días de regata, quien esté cerca de la costa recibirá el viento antes que uno que lo busca al interior. Ahora si el día es muy frío y el sol no calienta, el terral aparecerá nuevamente cerca de la costa. Quién esté mas al oriente se beneficiará antes que otro que no lo esté.

En todo caso, si el viento que estaba soplando desaparece bruscamente y aparecen las calmas, lo normal es que aparezca todo el viento junto, y su presencia será delatada por la oscuridad o rugosidad que rompe el espejo del agua en el horizonte. Si recibimos antes que el resto de la flota ese brusco aumento de viento, seguramente tomaremos una enorme e inalcanzable ventaja.

Anticiparnos en la variación de la dirección o rumbo y la velocidad del viento en la zona de regatas o cancha, es básico para diseñar el recorrido de modo que sea más y rápido que el del resto de la flota. Si un capitán escoge un recorrido corto con poco viento, seguramente llegará detrás de otro que buscó un recorrido más largo pero con más viento.

La información es básica en cualquier proyecto que deseemos realizar con éxito. En una regata o en largas travesías es básico leer las cartas meteorológicas observando qué es lo que se nos viene encima.

Normalmente los buenos competidores locales tienen la ventaja sobre los visitantes de conocer el régimen de vientos y las características de la cancha en las distintas épocas. Esta ventaja se hace más estrecha cuando el visitante llega con días de anticipación para leer las condiciones y variaciones del viento, mareas y corrientes que afectarán a la cancha durante las horas de competencia y se asesora con informes meteorológicos oficiales.

En las bahías de nuestro país, el viento tiende a entrar por una zona definida y a irse por las zonas bajas como la playa, o por las angosturas. Para detectar estas zonas es necesario estar antes que el viento aparezca y cuando el agua está como espejo. Cuando comienza a soplar, el agua acusará con rugosidades su presencia y mostrará el rumbo por donde circulará con mayor potencia cuando aumente. Es aconsejable memorizar o en su defecto, hacer un croquis marcando puntos notables que más tarde nos sirvan cuando estemos en el agua. Cuando la superficie del agua esté agitada o cuando el viento baje de velocidad y el agua se mantenga agitada, sólo nosotros sabremos por donde está soplando. Cuando existen muchas olas es más difícil ver el detalle o el camino del viento, pero se puede



La foto muestra la bahía de Caldera cuando el viento recién aparece.

Hace un par de años participé en la Regata Nacional de la Clase Pirata que se desarrolló en la desembocadura del río Calle-Calle frente a la Bahía de Corral en donde convergen tres importantes corrientes de agua que se aceleran y se hacen más visibles en el período en que baja la marea. Existe una ola oceánica, otra de viento y una de rebote. Es quizás una de las canchas más exigentes técnicamente hablando y una maravillosa experiencia regatear en ese lugar.

Los navegantes de Valdivia son expertos en Pirata y quienes iniciaron la clase en Chile. El buen lugar que obtuvimos, a pesar de los inconvenientes por rotura de algunos aparejos, y los más de 1.500 kilómetros de viaje, se debe a que con mi tripulante Lionel, leímos bien la cancha. Cuando tuvimos tiempo nos preocupamos de las veloces corrientes, y de los cambios de rumbo del viento que seguían la conformación costera.



Piratas iniciando la empopada en Corral. Foto: Gentileza de la Clase Pirata de Chile.

La ciudad llamada **Valdivia** se encuentra cerca de la costa de Chile, aproximadamente en la latitud 39,5° Sur. Ostenta el triste record de haber soportado el mayor terremoto registrado en planeta de intensidad 9,5 en la Escala de Richter, el 21 y 22 de Mayo de 1966, y en la costa, un tsunami que arrasó con todo lo que quedaba en pie. Sin embargo hoy se yergue como una de las ciudades más hermosas del país gracias a la pujanza y nobleza de su gente.

En Valdivia, en la orilla del hermoso río Calle Calle, se fundó el primer Club de Yates del país y en poco tiempo se produjo un enorme avance en la construcción de veleros, producto de la experiencia de las familias alemanas y sus descendientes que poblaron esa región a partir del año 1846. Sus descendientes, navegantes de gran tesón, son personas maravillosas a quienes les debo agradecimientos por la acogida que siempre nos han brindado por el sólo mérito de ser un navegante.

Navegar el río Calle-Calle es una maravilla y una experiencia de la que ningún navegante se puede privar.

En un campeonato mundial que se desarrolló en el Río de la Plata, el equipo francés y norteamericano contaba con helicópteros y lanchas de apoyo que se dedicaban a estudiar los vientos, las roladas, las corrientes, los accidentes que modificaban el rumbo del viento, las mareas, detalles todos importantes para una regata, con semanas de anticipación. Como resultado, disputaron primer y segundo lugar.

Perdónenme una pequeña chochera, pero a ese Campeonato Mundial de Windsurf, asistió mi hijo Hernán cuando tenía 17 años (en la foto navegando en Bahía Inglesa) y obtuvo un meritorio cuarto lugar. Sólo tuvo el apoyo que los destacados deportistas nacionales tenían en aquella época, o sea el de su familia o ninguno



En ese lugar, Río de la Plata, el ambiente es siempre muy competitivo y es difícil lograr superar a los locales que se valen de cualquier recurso para obtener ventajas. El mérito de los extranjeros que ganan regatas, como ha sucedido últimamente con algunos de nuestros campeones, es doble.

En otra oportunidad, en un Sudamericano de Windsurf, División II, realizado en el Río de la Plata, Argentina, nuestro equipo obviamente no contaba con la tecnología, los recursos y el apoyo en tierra que tenían los otros equipos y menos con la experiencia y conocimiento de la cancha que tenían los locales, por lo que antes de la regata y para definir el lado de la partida y el lado de la cancha favorecida, recurrimos a lo más barato: el ingenio. Teníamos manzanas en bolsas de plástico, (parte del almuerzo mariner) La bolsa la inflamos como globo, y pusimos en el agua manzana y globo al mismo tiempo, en una de las boyas de partida, con lo que pudimos comprobar el rumbo del viento y el efecto de la ola respecto a la línea de salida y lo más importante lo dijo la manzana: **la corriente**, que no la podíamos detectar con exactitud. Fue nuestra mejor regata. El recuerdo de haber virado la boya de barlovento delante de 150 botes que me odiaban es imborrable.

Fueron seis días de regata, más uno intermedio de descanso. Para llegar a la línea de partida debíamos navegar una hora, y después de terminadas las regatas del día, otra hora de regreso. Fácilmente eran siete horas en el agua. La selección dueña de casa siempre fue transportada al lugar de la regata y los esperaban para el regreso con comida caliente.

Lamentablemente en esa oportunidad había llovido mucho en días anteriores y el caudal había aumentado exageradamente y el agua estaba muy sucia. Aparte de estos inconvenientes, existe una gran cantidad de clubes de yates con muchos socios navegantes que meten sus embarcaciones en el área de regata interfiriendo el viento limpio, especialmente a los que no son de su club.

No está de más recordar a quienes vayan a competir a la provincia de Buenos Aires en flotas numerosas, que tan importante como sacar buenos lugares en el agua, es verificar que estos lugares

alcanzados coincidan con el resultado de las planillas, y que sean publicados oportunamente en un lugar de fácil acceso. Fuimos invitados a muchas otras regatas del circuito que se desarrollaban en otras provincias Argentinas, hicimos muchos y buenos amigos y jamás ocurrió un hecho bochornoso similar al de Buenos Aires.

Aun cuando la mayoría de los errores que se cometen en las planillas de resultados, no van acompañados de mala intención, la regata “fuera del agua” es a veces diferente que la que ocurre en el agua, como lamentablemente nos ocurrió en aquel sudamericano de windsurf en Buenos Aires.

Es lamentable que ocurra, pero ocurre, y provoca un enorme daño al deporte competitivo.

Segunda parte.

8.- La acción del viento sobre los objetos

Analizaremos en esta sección dos formas de acción, que son las principales:

8.1.- Acción por presión directa o por forma.

8.2.- Fuerza de arrastre por rozamiento o fricción del viento

La resistencia que el viento opone al movimiento de un velero en ceñida con un viento de 10 nudos es del orden del 30% del total del freno o arrastre. El resto de las fuerzas opositoras se encuentran en la acción del agua sobre el casco y la formación de olas parásitas. Esta cifra naturalmente varía con condiciones de agua y mar en que se navega, de bote a bote. La tarea fundamental de la tripulación para mejorar la velocidad, disminuir al máximo el arrastre.

Dado que **la velocidad constante en un móvil** se adquiere cuando las fuerzas de impulsión se equiparan al arrastre, la forma de aumentar la velocidad es disminuyendo el arrastre o aumentando la fuerza aplicada.

En general, cuando el viento actúa sobre los objetos que flotan sobre el agua, provoca en ellos movimientos cuya dirección no siempre coincide con el rumbo del viento. Este desplazamiento se ve retardado por la viscosidad del agua que se opone al movimiento en la obra viva del objeto, por fuerzas que se relacionan con la forma o presión directa, y por las fuerzas de corte o rozamiento.

La resultante de estas fuerzas opositoras al movimiento se puede descomponer en dos fuerzas: una paralela y opuesta al rumbo del flujo o arrastre, y una perpendicular al flujo o alzamiento.

La fuerza de alzamiento definida bajo estos términos, para cualquier cuerpo que se desplaza en el agua, es la componente perpendicular al rumbo del flujo, que se genera por presión directa del agua en la cara de barlovento del objeto, y es la responsable de la desviación del rumbo respecto a la dirección del flujo. Veremos que de acuerdo a la forma, aparecen otras fuerzas que desvían el rumbo.

Alzamiento y arrastre son términos adaptados de la aeronavegación y que aplicados a la navegación han provocado confusiones, tal como veremos.

8.1.- Acción por presión directa o por forma

Definimos el viento como una masa de aire que se desplaza. Estas masas de aire son normalmente de enormes dimensiones, por lo que su efecto no tiene las características de un impacto, sino de una fuerza constante.

Las fuerzas **constantes**, como el viento, son las que provocan aceleraciones y movimiento constante en los cuerpos sobre los que actúan.

Cuando velero está en reposo flotando sobre el agua y recibe la acción del viento, se provoca una aceleración o movimiento acelerado, porque la fuerza aplicada es superior a la resistencia que el agua opone al movimiento. Sin embargo la resistencia que el agua opone al movimiento también aumenta a medida que la velocidad se hace mayor. Esta aceleración del movimiento tiene un límite que se manifiesta cuando la velocidad se torna constante. En ese momento no existe aceleración, sólo velocidad constante.

Teóricamente si un cuerpo en movimiento logra una velocidad constante, es porque la fuerza de impulsión se igualó a la fuerza contraria al desplazamiento o arrastre. En caso que no exista arrastre, como una pluma en el viento, el móvil tendrá la velocidad del viento.

El viento que actúa sobre un objeto que flota sobre el agua, lo desplazará y lo acelerará en la medida que la fuerza de **arrastre**, o contraria a la acción del viento, lo permita. Si la fuerza de arrastre que ejerce el agua es muy grande, por forma del objeto o por la viscosidad del fluido en que se encuentra, apenas se moverá, o no se moverá.

Cuando navegamos empopados, nunca logramos llegar a la velocidad del viento, porque en ese caso las velas caerían o colgarían como trapos perdiendo su forma, o sea no trabajarían. El casco debe vencer una resistencia para mantener la forma de las velas.

Cuando empujamos un carro o un automóvil que está detenido, aplicamos inicialmente una gran fuerza y se inicia un movimiento cuya velocidad va en aumento hasta que logramos darle una velocidad constante que es la máxima a la que podemos optar. En ese momento la fuerza que necesitamos aplicar para mantener la velocidad constante es igual a la suma de fuerzas que se oponen al movimiento.

Los paracaídas se calculan para que desciendan a velocidad constante. La fuerza constante de la gravedad es igualada a la resistencia que opone el aire.

El freno que los fluidos, agua y aire, oponen al desplazamiento está siempre presentes en nuestra navegación. La mayor velocidad que adquirimos en nuestro bote, respecto a otro, se debe entonces al motor que son las velas y al menor arrastre por rozamiento y por forma del casco. En la medida que mejoremos la técnica para dar adecuada forma y una justa incidencia de viento en nuestras velas y mejorar la relación casco agua seremos más veloces que otro velero similar.

Más adelante veremos en detalle estos efectos, **pero ya podemos sospechar que nuestro enemigo para ir más rápido se encuentra en el agua más que en el aire, en la resistencia o arrastre más que en la potencia.**

La presión que ejerce el viento sobre una superficie, llamada también presión dinámica se mide con un instrumento llamado **Tubo Pitot**.

Esta masa de aire que se mueve posee una energía cinética que ha sido dimensionada por la fórmula siguiente:

$$\text{Energía cinética} = \frac{1}{2} \times \text{masa} \times \text{velocidad al cuadrado}$$

Y que es la responsable de la presión ejercida sobre una determinada superficie.

El peso del aire es para efectos de cálculo 1,20 kilos por m³.

El peso es la medida de la fuerza con que la gravedad (g = 9,8 m/seg²) atrae a una masa de materia.

$$\text{Luego la masa del aire es} = \frac{1,20}{9.8} = 0,1224$$

La presión del aire en movimiento sobre la superficie de un objeto inmóvil es:

$$P = \frac{1}{2} \times 0,1224 \times V \text{ al cuadrado} = 0,061 \times V^2. \text{ por unidad de superficie}$$

Parece tan fácil, pero en la realidad tal como veremos, los resultados de la aplicación de esta fórmula no coinciden con los valores obtenidos experimentalmente por antiguos investigadores.

Las razones son muchas, partiendo por las limitaciones de equipo de medición, la variabilidad de la densidad del aire, del tipo de flujo, o sea si es viento limpio o turbulento, de la temperatura, de la humedad del aire, de la forma del objeto, etc.

Por tal razón y como nos sucederá a menudo, cuando se trate de obtener valores de la fuerza del aire sobre un objeto, sólo llegaremos a conocer valores aproximados.

En la empopada de una regata de clase en que la superficie de las velas son similares, cascos y pesos muy parecidos, todos bajo las mismas condiciones de aire y viento, la forma de la vela, plana o con mucha profundidad, hacen una enorme diferencia en la potencia, y la velocidad entre bote y bote, entre muchos otros factores será diferente.

8.1.1.- Métodos para calcular las fuerza del viento

Cuando el hombre comenzó a diseñar los aparatos de vuelo, necesitó saber con más certeza el comportamiento del aire sobre los objetos, porque lo que antes era discusión académica y experimentos no tan exactos, ahora involucraba la integridad y la vida de los pilotos.

Investigadores eminentes como Reynolds, Froude, Prandtl y von Karman, Gottingen, Eiffel, durante el siglo **XIX** y principios del siglo **XX** consideraron que el estudio de los fluidos debía ser una mezcla de teoría y experimentación. Con ellos nace la ciencia de La Mecánica de los Fluidos, tal como hasta hoy se conoce.

Veremos que la mayoría de los fenómenos físicos relacionados con los fluidos, fueron primero observados y después justificados matemáticamente o a través de fórmulas no tan exactas.

8.1.2.- Acción del viento sobre una placa plana

Los primeros libros sobre el tema hablan que cuando el viento acomete sobre una placa plana en posición normal a la dirección del viento, la fuerza que recibe ese plano se calcula con la siguiente formula:

$$R = k \times A \times V^2 = \text{kilos}$$

En que **R** es la fuerza por presión directa en kilos,

A es la superficie expuesta frontalmente al viento, en m².

V es la velocidad del viento en metros por segundo,

k es una constante media = 0,08 establecida empíricamente hace muchos años por Renard, a 15 ° de temperatura y presión atmosférica = 760 mm., con la que se obtienen resultados bastante aproximados para superficies planas.

O sea que si esto lo aplicamos a un letrero caminero de 2 metros cuadrados, con una velocidad del viento de 10 m/ seg. , entonces la fuerza que debe soportar es:

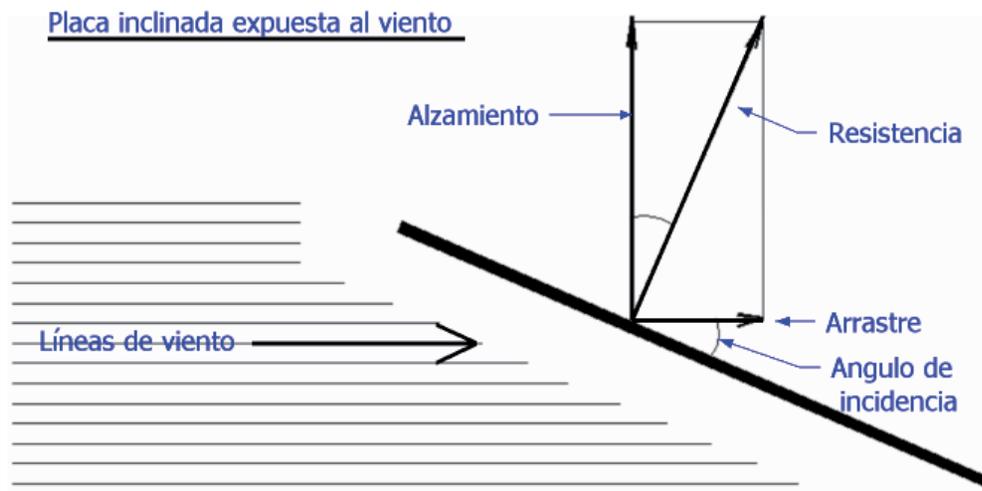
$$\text{Fuerza} = 0,08 \times 2 \text{ m}^2. \times 10 \text{ m/s.} \times 10\text{m/s.} = \underline{\underline{16 \text{ kilos}}}$$

8.1.3.- Acción del viento sobre un plano inclinado

No es entendible que exista en el tiempo tanta variedad de fórmulas que se han empleado para calcular teóricamente la fuerza con que actúa el viento sobre una placa plana inclinada. Veremos sólo algunas.

La resistencia dibujada en el croquis es la acción del viento sobre la placa.

El alzamiento de esta placa es la componente vertical, en contra de la gravedad, y el arrastre es la componente en el sentido opuesto del viento. (Concepto de la aerodinámica)



El célebre **Newton** entrega la siguiente fórmula:

Resistencia es proporcional a = masa del aire x Velocidad al cuadrado x seno i

Ejemplo:

Si la placa es de 1 m², el viento es de 10m/s. y la inclinación es de 10°, entonces la Resistencia es:

$$\frac{1,22 \times 100 \times 0.174}{9.8} = \mathbf{2,16 \text{ kilos}}$$

Otras publicaciones posteriores (Nicomedes Alcayde y Carvajal, 1933) entregan la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Resistencia = 2 \times k \times A \times V^2 \times \text{seno } i}$$

Aplicando esta fórmula para el mismo ejemplo anterior:

$$R = 2 \times 0,08 \times 1 \times 100 \times 0,174 = 2,78 \text{ Kilos}$$

Si se aplica esta fórmula para valores de ángulo cercano a los 90° nos da el doble del valor que resulta con la fórmula original, lo cual nos indica que la fórmula o no es aplicable a todos los ángulos de inclinación de la placa o bien que el factor 2 está de más.

Para este mismo tema, otros autores de la época entregan una fórmula similar a la indicada anteriormente para placas inclinadas, pero sin el factor doble o dos.

$$\text{Aplicando la fórmula de esa forma, la resistencia es de } \frac{2,78}{2} = 1,29 \text{ kilos}$$

Actualmente se han desarrollado fórmulas para determinar separadamente el arrastre y el alzamiento de cualquier cuerpo expuesto a un flujo, y para lo cual se ha agregado el concepto de **coeficiente de alzamiento o de arrastre** y la **densidad del fluido** el cual está tabulado para distintas temperaturas. Por eso hablaremos de resistencia del aire al desplazamiento de un cuerpo, a determinada temperatura del fluido.

Se considera además que el flujo se aplica a la proyección de la placa expuesta.

Un investigador de la mecánica de fluidos, (Kutta) determinó teóricamente los valores de los **coeficientes de alzamiento** para placas planas delgadas, que tienen un grado de inclinación respecto al rumbo de incidencia del viento. Sin embargo el ángulo máximo de aplicación de esta fórmula es de 25° de incidencia. (pi = 3.1416)

La fórmula para el **coeficientes de alzamiento** = $2 \times \pi \times \text{seno } i$

De este modo, si hacemos un pequeño cuadro tendremos:

Seno de 5° = 0,087	luego	Cl. para i = 5° es 0,5466
Seno 10° = 0,174		10° es 1,09
Seno 15° = 0,259		15° es 1,63
Seno 20° = 0,342		20° es 2,15

Para calcular la fuerza de alzamiento, por presión se usa la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} \times d \times Cl \times A \times V^2 \quad \text{---} = (\text{kilos})$$

9,8

En que : Cl = coeficiente de alzamiento por presión.,

A = superficie en m². Proyectada en un plano normal a la dirección del fluido,

d = peso del fluido en k/ m³.

V = velocidad del fluido en m/s

9,8 = fuerza de gravedad

color

D acuerdo al croquis anterior, **Resistencia = $\frac{\text{Fuerza de alzamiento}}{\text{coseno } i}$**

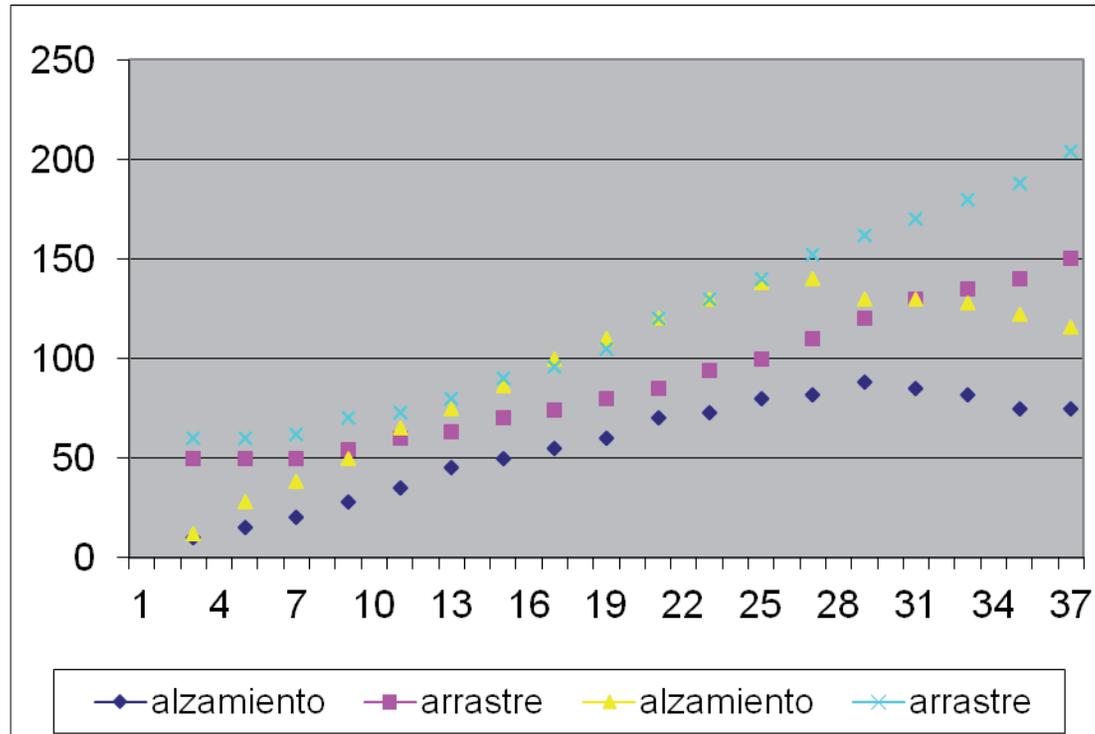
Aplicando esta fórmula al ejemplo anterior, tenemos que:

$$\text{Resistencia} = \frac{1,22 \times 1,09 \times 1 \times 0,174 \times 100}{2 \times 9,8 \times 0,985 \dots (\text{cos } i)} = 1,2 \text{ kilos}$$

Tenemos cuatro resultados distintos para un mismo ejemplo. Debo decir sobre este tema, que me hizo gastar más tiempo que el que hubiera deseado gastar, que los más recientes ensayos, que normalmente se desarrollan en túneles de viento, entregan resultados que no siempre están de acuerdo con las más modernas fórmulas teóricas.

Recurrí al túnel de viento de La Universidad de la Serena para ensayar una placa plana a dos velocidades distintas, a 6 m/s y 11 m/s y obtuve valores para el alzamiento y el arrastre para distintos ángulos de incidencia del viento. Con los datos obtenidos pude confeccionar un gráfico.

En el gráfico se indica verticalmente los gramos de alzamiento y arrastre de una placa plana expuesta a un viento de 6 m/s y a 11 m/s para los grados de inclinación indicados en el eje x horizontal.



Por ejemplo, a los 30 grados de inclinación el alzamiento es de 88 gr (negro) y el arrastre es de 120 gr, (rojo) para el viento de 6m/s.

Respecto al arrastre, debo aclarar que las líneas horizontales que muestran hasta los 7° corresponden al arrastre del sistema de fijación de la placa, que siempre genera un arrastre, aun sin la placa. En este caso el valor es de 10gr. y 18 gr para el viento más fuerte.

Observando el croquis se puede comprobar además que el alzamiento para poco viento comienza a disminuir a los **30 grados** y que el arrastre continúa aumentando. Del mismo modo, con viento a 11m/s el alzamiento subió hasta los **28 grados**.

La placa empleada tiene 12x 24 cm o sea 0,0288 m².

Si aplicamos las fórmulas anteriores a la placa del ensayo dan los siguientes resultados:

Newton **62 gramos**

Nicomedes **80 gr.**

Otro **40 gr.**

Moderno sistema **35 gr.**

Se pudo comprobar además que el comportamiento no es lineal, por lo que no son aplicables en forma certera las fórmulas citadas. Sin embargo la que más se aproxima a resultados del experimento para 10° de incidencia son las dos primeras.

La fórmula más moderna con los coeficientes de Kutta sería la más exacta si elimináramos el factor ½ siempre que el señor Kutta lo permita. De esa forma el resultado sería **70 gramos**.

Estas fórmulas son aplicables hasta los 25° de inclinación o de incidencia del viento.

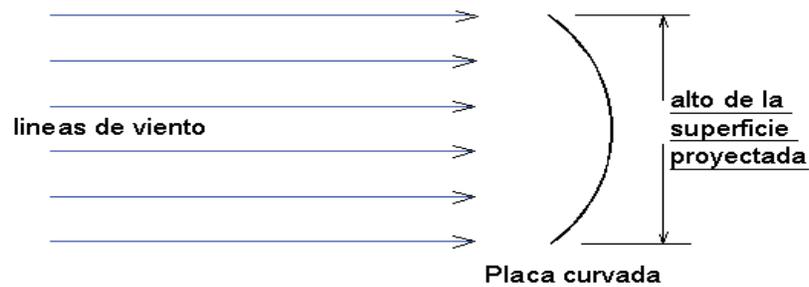
8.1.4.- Acción del viento sobre placas curvadas

Nuestras velas tienen formas curvadas. Está demostrado experimentalmente que tales formas son más eficientes para provocar “alzamiento”, cuando están expuestas a un flujo de aire con un pequeño ángulo de incidencia, ya que actúan por presión directa sobre la cara de barlovento, más la fuerza de sustentación que provoca la cara de sotavento.

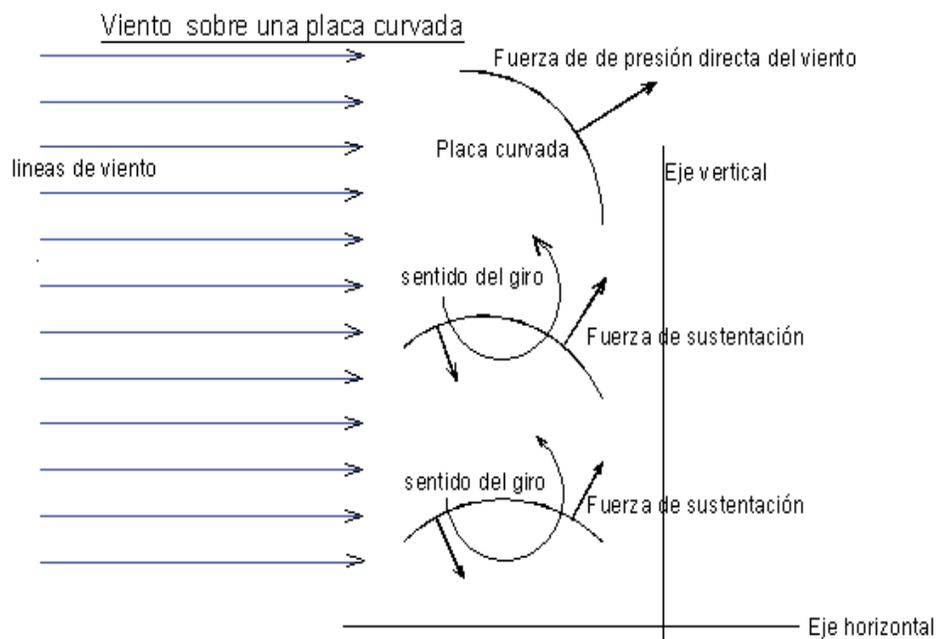
Nótese que en esta parte de los apuntes hablaremos de alzamiento de la misma forma que lo emplean en la aeronavegación, y que es la fuerza en sentido perpendicular al desplazamiento de un ala o a la dirección del viento, cuando el ala está inmóvil. El alzamiento es la suma de la componente vertical de la presión directa por barlovento más la componente de la fuerza de sustentación por sotavento. El arrastre total que provoca un cuerpo expuesto al flujo es la suma de las componentes en el sentido opuesto del flujo y, de las componentes de ambas fuerzas en el sentido del flujo.

Para calcular la acción del viento sobre placas curvadas expuestas de cara al viento, o sea en posición normal al viento, se emplean experimentos similares a la placa plana, empleando otros valores para el coeficiente **K**, que son superiores en 40% respecto a una placa plana y 60% menor si se trata del lado convexo expuesto al flujo respecto a una placa plana.

Viento frontal sobre una placa curvada



Pero cuando aparece el tema del ángulo de incidencia del viento, el cálculo del alzamiento y arrastre se complica.



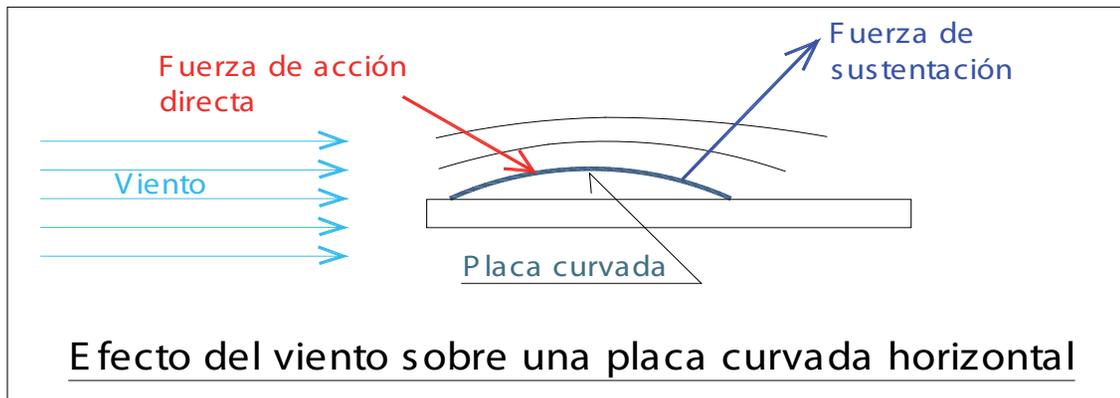
En el croquis podemos apreciar además los efectos del viento sobre las placas curvadas que presentan un grado de inclinación respecto a la incidencia del viento, la acción de dos fuerzas, la de acción directa y la “**sustentación**” que actúan en diferentes lugares provocando además un giro.

El cálculo de los valores o dimensiones de las fuerzas es un tema más complicado y que distintos autores evitan referirse al tema, porque los valores de los coeficientes de arrastre o alzamiento son únicos para cada forma de vela.

Estoy seguro que con mucha paciencia y tiempo se pueden confeccionar tablas que consideren las variables que presentan las placas curvadas. Dudo que existan, y menos para nuestras velas que tienen infinitas formas.

Mas adelante intentaremos explicar en el tema dedicado a **la fuerza de sustentación**, algún sistema más “artesanal” de cálculo.

Ahora si la placa curvada está en posición horizontal, como por ejemplo arriba de una mesa, y expuesta al viento, entonces aparecen sobre la placa curvada dos tipos de fuerza, una que trata de presionarla sobre la superficie de la mesa, y otra más a sotavento que trata de levantarla, tal como se indica en el croquis siguiente:



Este mismo ejemplo hecho en un túnel de viento nos aclaró que para perfiles como el del croquis con diferentes profundidades y distinta posición de la profundidad en posición de cuerda horizontal, siempre tuvo valores importantes de alzamiento.

Fue interesante verificar cual era la inclinación necesaria para que el alzamiento fuera cero, es decir cuando la componente de la fuerza de acción directa iguala a la sustentación.

Deseo establecer que, para velocidades bajas, la sustentación en el ejemplo anterior no se provocó por diferencias de presión entre los costados del perfil, tal como reiteran muchos libros sobre el tema. Si la diferencia de presión entre las caras fuera el motivo del movimiento, la placa despegaría verticalmente de la cubierta de la mesa lo que no ocurre.

Deseo destacar esta diferencia porque este detalle cambia completamente lo que hasta hoy nos indican los libros de navegación. La forma en que se genera la sustentación, no por vacío o diferencia de presión tiene un enorme significado al momento de diseñar perfiles de velas.

8.1.5.- Un ejercicio de aplicación

Veamos un ejemplo elemental de aplicación de la fuerza del viento que actúa sobre una vela de posición normal a su dirección. Emplearemos la antigua fórmula, en pleno conocimiento que el coeficiente para una vela no es el mismo que para una placa plana pero nos dará una aproximación.

Suponiendo que el velero “**Noestoynahí**” está compitiendo en contra de “**Limpiecito**” que son exactamente iguales, y para no complicarnos navegan en una popa franca, con un viento de 12 metros por seg. (23 nudos) y con un velamen expuesto de 10 m2.

Ambos tienen una fuerza inicial por presión del viento de:

$$F_i = 0,08 \times 10 \times 12 \times 12 = 115,20 \text{ kilos } (=k \times \text{área.} \times \text{veloc al cuadrado)}$$

Si esta fuerza inicial provoca en “Noestoyniahi” un andar constante de 7 nudos (por ejemplo) o sea

$$7 \times 1.852 \text{ metros} / 3600 \text{ seg} = 3,60 \text{ metros} / \text{seg.}$$

Entonces, ahora en movimiento la fuerza del viento sobre la vela será de:

$$F = 0,08 \times 10 \times (12 - 3,60 \text{ m/seg.}) = 56,45 \text{ kilos,}$$

Esta fuerza se emplea en formar olas parásitas, en vencer la resistencia del agua, y en generar movimiento.

Pero antes de la regata “Limpiecito” se preocupó de limpiar cuidadosamente el casco, timón y orza, y durante el recorrido, de ubicar perfectamente los pesos de tripulantes. Eso le hizo disminuir el arrastre del agua en un pequeño porcentaje. Esa mínima diferencia significa que el andar de “Limpiecito” puede aumentar de 3,6 m/s a 3,71 m/s. o sea 7,21 nudos. En una hora de navegación, “Limpiecito” sacó una ventaja de 389 metros sobre “Noestoyniahi”. **A veces perdemos una regata por una distancia menor de 1 metro...**

Si las condiciones de viento para la flota en regata, con tripulantes expertos, es prácticamente el mismo, la diferencia de velocidad en una empopada, aparte de forma de la vela, hay que buscarla principalmente subsanando la relación casco agua, o sea disminuyendo el freno que el agua opone a nuestro desplazamiento. Es ahí donde radican principalmente los problemas de velocidad.

Para un mismo cuerpo, el agua opone una resistencia equivalente a ¡830 veces! ... la resistencia que el mismo cuerpo genera en el aire.

En el caso de **nuestro casco**, la fuerza de arrastre por presión se calcula considerando la proyección de superficie en el sentido del movimiento y la fuerza de fricción como si fuera una superficie plana. Mientras mayor sea la proyección, mayor arrastre.

La tripulación de un velero menor se ve muy afectado por una mala ubicación, por ejemplo con exceso de peso en la popa o en la proa. Una tripulación inteligente concentra el mayor peso propio y de otros elementos en el centro de giro o de cabeceo, de modo que el agua salga por la popa al menos al nivel inferior del espejo, y tenga la menor superficie proyectada en el sentido del movimiento.

Nuestra vela, navegando por la popa, está sometida sólo a la acción del viento por presión. Cuando navega a la cuadra y cercano a ese rumbo, y el viento fluye a través de su superficie recibe presión directa, fuerzas de fricción y genera fuerza de sustentación por sotavento, tema que ampliaremos más adelante.

8.1.6.- Actual sistema de cálculo

Con el desarrollo de la aeronavegación a principios del Siglo XX y el uso de los cielos, fue necesario profundizar sobre el comportamiento de los fluidos y sus variaciones respecto a la altura, considerando ahora densidad, viscosidad, temperatura, presión barométrica, velocidad, forma del objeto afectado por la acción del fluido, etc.

La aplicación este nuevo sistema de cálculo tanto para el arrastre (componente de la resistencia opuesto al flujo) como para el alzamiento (componente perpendicular al flujo), elimina nuestro antiguo $k = 0,08$ y como se podrá comprender, complica un poco más las cosas por lo que sólo mencionaremos lo que sea de nuestro interés, y volveremos sobre algunos conceptos cuando hablemos del agua.

Para calcular la fuerza de arrastre, por presión se usa la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} \times d \times C_d \times A \times V^2 \quad \text{--} = (\text{kilos})$$

9,8

En que : C_d = coeficiente de arrastre por presión.,

A = superficie en m^2 . Proyectada en un plano normal a la dirección del fluido,

d = peso del fluido en k/m^3 .

V = velocidad del fluido en m/s

9,8 = fuerza de gravedad

Cada objeto en reposo que está sometido a la acción de un fluido, viento o flujo de agua, o bien sea el objeto el que se desplaza en un fluido en reposo, recibe fuerzas que se oponen al movimiento. Esta oposición al movimiento está directamente relacionada a la forma del objeto, y obviamente con la viscosidad del fluido en que se encuentra, de tal manera que un objeto aerodinámico tiene un coeficiente de arrastre inferior al de un cilindro, y éste, un coeficiente menor que una superficie plana opuesta perpendicularmente al flujo.

Coeficiente para otras formas de objetos de superficie lisa

<u>Objeto</u>	<u>Coeficiente de arrastre por presión</u>
Placa plana cuadrada	1
Hemisferio cóncavo	1,40
Hemisferio convexo	0,40
Cilindro	0,90 a 1,15
Placa circular	1,12

Como consecuencia inmediata, podemos afirmar que una vela con mucha bolsa (cercana a cóncava) opone mayor resistencia al paso del viento en la empopada, y por las cifras anteriores hasta podemos afirmar sin temor a equivocarnos, que es a lo menos un 20% más eficiente que una vela absolutamente plana de la misma superficie. La máxima potencia en una empopada se obtiene exponiendo la mayor superficie cóncava posible.

En el cálculo del coeficiente de arrastre para placas planas, que reciben el flujo perpendicu-

larmente, se recurrió a ensayos de laboratorio a través de túneles de viento. Para las placas planas en que la **relación del ancho/ alto es 1**, o sea cuadradas, el coeficiente de arrastre es siempre **1,16** y va aumentando linealmente hasta **1,50** para rectángulos en que la relación ancho alto es 20, o sea 20 de ancho por 1m. de alto.

Para esferas, cilindros y otras formas, es necesario calcular previamente el número de Reynolds (**Re**) y según el valor resultante se puede calcular el coeficiente respectivo con complicadas fórmulas o recurrir a tablas confeccionadas para facilitar la vida a los que tienen que aplicar estos coeficientes. Por ahora diremos que el número de Reynolds establece el tipo de flujo que está en contacto con el objeto. Se verá más adelante.

Aplicando esta fórmula para el ejemplo anterior, en que la velocidad del viento aparente es 12 m/seg. , la superficie de la vela opuesta al viento es de 10 m² el coeficiente de arrastre Cd es **1,16** según una tabla, y la densidad del aire es **1,20 k/m³**,

Tenemos que:

$$Fd = \frac{1}{2} \times d \times Cd \times A \times V^2 = (\text{kilos})$$

9,8

$$Fd = \frac{1}{2} \times 1,20 \times 1,16 \times 10 \times 144 = 102 \text{ kilos}$$

9,8

Nota: En este ejemplo me he referido a un "viento aparente", es decir al que recibe una vela de una embarcación en movimiento. Si esa embarcación se detiene bruscamente, entonces queda sujeta a la acción del viento real ya que el viento propio producto del desplazamiento desaparece.

Recordemos que con la antigua fórmula empleando **k = 0,08** nos resultó una fuerza de **115,20 kilos**. O sea que la antigua fórmula nos entrega en forma fácil un valor aproximado.

Aplicando esta fórmula para determinar el arrastre a los elementos de un yate con arboladura o a elementos que normalmente usamos en la navegación, el viento nos provoca los siguientes arrastres:

Arrastre aproximado en kilos/metro

<u>Elemento</u>	<u>viento</u>	<u>a 5m/s</u>	<u>10m/s</u>	<u>15m/s.. (30 nudos)</u>
Mástil de 7 cm. de diam.		0,14	0,21	0,39
Mástil de 10 cm. de diam.		0,16	0,73	0,70
Obenque de 6 mm		0,01	0,04	0,08

Debemos recordar que estos valores siguen siendo aproximados

8.2.- Fuerza de arrastre por rozamiento o fricción del viento

La eficiencia de una vela se ve afectada por el arrastre o freno, principalmente por forma o presión directa y por la fricción del aire sobre la superficie de ella.

Las modificaciones de forma de una vela pueden aumentar en un 30% el alzamiento y disminuir en un alto porcentaje el arrastre. Siendo el arrastre un tema de enorme importancia dedicaremos más tiempo en desarrollarlo.

Si ponemos una placa plana y de poco espesor en posición frontal a la dirección del viento, tendremos una fuerza de arrastre por forma o por presión, y no existirá arrastre por fricción. Ahora si ubicamos esta placa en posición paralela al viento, entonces tendremos sólo arrastre por fricción por ambas caras y no por forma o por presión.

Si esta placa la ponemos inclinado con un ángulo de 10° por ejemplo, entonces tendremos arrastre por fricción y también por forma o presión directa. Es además el caso de un timón plano de un barco mal equilibrado.

El arrastre por rozamiento que provoca un fluido sobre un objeto de formas redondeadas, como una esfera, es del orden del 10% del que provoca por forma o presión directa. En una vela este porcentaje aumenta hasta en un 25 %.

8.2.1.- Conceptos relacionadas con los fluidos

Para el que navega por navegar, estas definiciones les parecerán innecesarias, pero aquellos que deseen sacar el máximo rendimiento a una embarcación, deben llegar a entender los fenómenos que intervienen en cada elemento que forma parte de su embarcación y que siempre está en contacto con un fluido.

La potencia de una vela, la acción coordinada de varias velas, la forma del casco, la forma de llevar la embarcación con respecto al nivel del agua, la forma de la orza, quillote, bulbo, aletas estabilizadoras y del timón, todo tiene que ver con la acción del agua y del viento.

Si usted no tiene claridad sobre los siguientes conceptos, no pretenda entender porqué otros navegantes sacan más velocidad al mismo bote que tiene usted.

Para entender además las causas por las que se frena nuestro bote por acción de fuerzas de rozamiento o fricción del viento y del agua, tendremos necesariamente que profundizar un poco más las propiedades de los fluidos, definidas anteriormente. Perdón por ser reiterativo.

A.- Densidad, masa de un cuerpo por unidad de volumen, expresada en gramos por centímetro cúbico o kilos por metro cúbico.

B.- Peso, es la medida de la fuerza gravitatoria ejercida sobre la masa de un objeto. La fuerza gravitatoria que actúa sobre un objeto de masa **m** se puede expresar matemáticamente por la expresión:

$$P = m \cdot g \quad \text{o sea} \quad \text{Peso} = \text{masa por gravedad}$$

El peso del agua es de 1000 kilos por m3.

La masa es de 1 m3 de agua es de $1000 : 9,8 = 102,04$

El peso del aire puro y seco en condiciones normales es de 1,29 kilos/ m3. En condiciones normales a 15° a nivel del mar y con algo de humedad, el peso es de **1,22 K/m3** .

C.- Viscosidad, Propiedad de un fluido en virtud del cual ofrece resistencia al esfuerzo de corte. Es también aquella propiedad por la que un líquido tiende a oponerse a fluir cuando se le aplica una fuerza o se vierte. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad. Normalmente se denomina Viscosidad Dinámica o real

Si volvemos a la definición de lo que es un gas, veremos que las moléculas que lo conforman están en permanente movimiento y su desplazamiento es a enormes velocidades. Si pudiéramos construir una placa de gas, como una delgada hoja de cuaderno, y si contáramos con un adecuado microscopio de enorme poder de aumento, veríamos que esa superficie, que suponíamos lisa, es absolutamente irregular y que está formada por pequeñas partículas que van y vienen en todas las direcciones imaginables. Si esa placa imaginaria de gas la enfrentamos a otra placa similar e intentamos desplazarla en contacto con la otra, algunas moléculas de una placa se introducirán en el espacio de la otra placa y vice-versa. En sus erráticos movimientos algunas partículas aportarán al sentido del desplazamiento pero la mayor cantidad irá en otros sentidos retardando el movimiento.

Esta explicación de la viscosidad es la que entrega **la teoría cinética molecular** y de acuerdo al tipo de gas y a la temperatura que se encuentra, entrega cifras cuyo método está absolutamente lejano a nuestro propósito y a mi entendimiento. Sin embargo esta teoría explica perfectamente la razón por la que los gases se tornan más viscosos con el aumento del calor; los movimientos moleculares se aceleran.

En los gases, la viscosidad dinámica o real aumenta con el aumento de la temperatura, y en los líquidos ocurre lo contrario. El aire a 30° es más viscoso que a 10°. No me pregunten por la razón por la que esta explicación es válida para el gas y no para el agua pero en la práctica y hechas las mediciones tal afirmación es verdadera como lo confirma la siguiente tabla:

Valores de Viscosidad dinámica:	para	Agua	Aire	diferencia
Temperatura	0°	0,001792	0,0000172	104 veces
	10°	0,001308	0,0000176	74 “
	20°	0,001005	0,0000181	55 “
	30°	0,000801	0,0000186	43 “

La viscosidad del agua es 74 veces superior a la viscosidad del aire a 10° y 43 veces superior a 30° de temperatura.

El peso del agua es 830 veces la del aire, detalles importantes para recordar más adelante cuando tratemos el tema de la sustentación por sotavento de un perfil curvado.

D.- Viscosidad cinemática

Existe una viscosidad dinámica, que es la propiedad real de un fluido y de la que hemos hablado hasta ahora, y una viscosidad cinemática, que es una cifra abreviada empleada para cálculo de números adimensionales como el Número de Reynolds.

Viscosidad cinemática = Viscosidad dinámica

Densidad de la masa

La desafortunada denominación de estos términos no es de mi responsabilidad, porque a menudo se confunden.

<u>Valores de Viscosidad cinemática</u>	<u>Agua</u>	<u>Aire</u>	<u>diferencia</u>
Temperatura 0°	0,000001792	0,0000133	7,4 veces superior al agua.
10°	0,000001308	0,0000141	10,8 “
20°	0,000001005	0,0000151	15 “
30°	0,000000804	0,0000160	20 “

Se da la curiosidad que la viscosidad cinemática **del aire** a 30° es 20 veces superior a la del agua.

Observando la forma en que se calcula en N° de Reynolds:

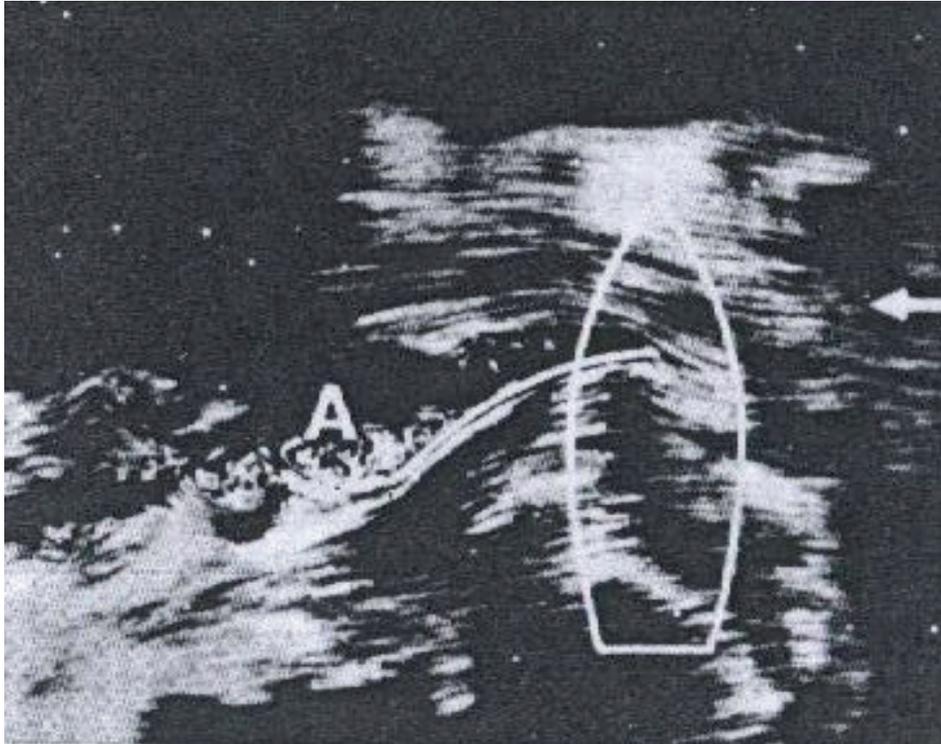
$$\text{Re} = \frac{\text{Velocidad} \times \text{Longitud}}{\text{Viscosidad Cinem.}}$$

Podemos concluir que viscosidad cinemática y Reynolds son inversamente proporcionales. Esto quiere decir que **un flujo de agua se torna turbulento antes que un flujo de aire expuesto a las mismas condiciones de velocidad. ¡Detalle muy importante!**

Respecto a esto, y ahora con un mayor conocimiento de las características de los fluidos, y aplicando las conclusiones anteriores, creo que es oportuno analizar el célebre trabajo realizado en el **Fluid Mechanics Laboratory College** en Inglaterra publicado por **Eric Twanname** en uno de sus libros de navegación, y reproducido en todos los libros relacionados con el tema que me ha tocado ver y estudiar.

No se trata de corregir ni criticar este valioso e histórico ensayo sino hacer un buen aporte.

Se trata, como hemos dicho, de un original ensayo realizado en un canal de agua en donde se introducen y fijan unas láminas rígidas de latón, curvadas que simulan un foque y una mayor. A continuación se distribuye en la superficie del flujo de agua, polvo de aluminio que flota y se toman fotografías con tiempo, suficiente para inmortalizar la trayectoria de las partículas de aluminio al fluir a través de “las velas” de hojalata en un canal, en distintas posiciones.



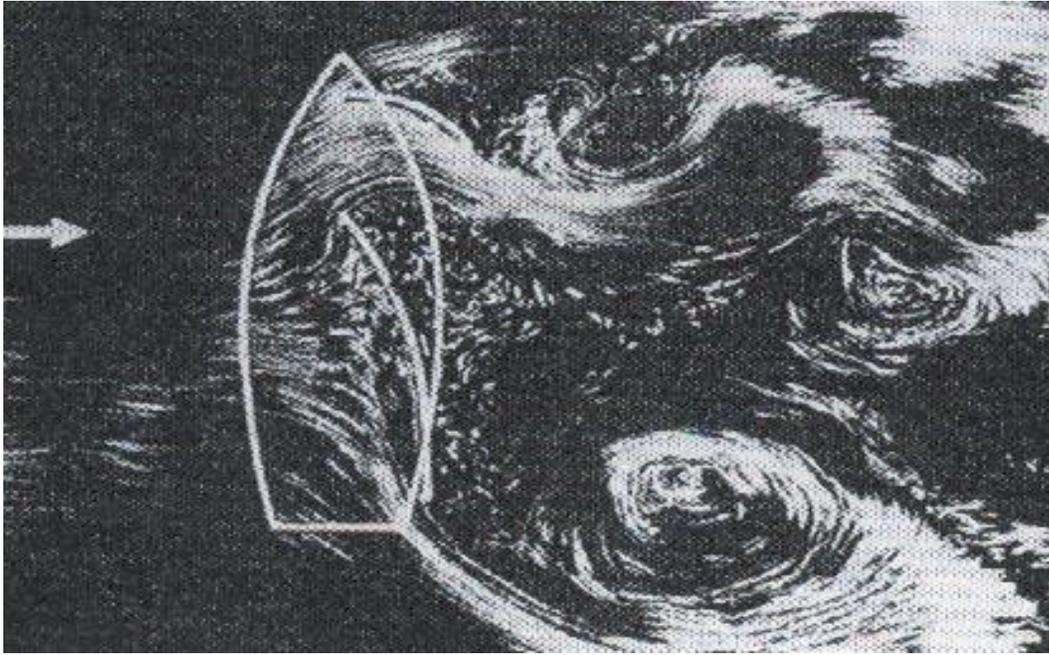
El resultado es espectacular y tal como dice el título de algunos libros: **“si pudiéramos ver la trayectoria del viento”**

No seré la excepción en reproducir unas de aquellas célebres fotos:

En la foto se puede apreciar en forma nítida las líneas que trazan las partículas de aluminio al enfrentar la vela mayor. El foque se distingue poco producto de una mala posición respecto al flujo.

Podemos destacar que el flujo de agua que pasa por sotavento de la mayor se separa inmediatamente de la superficie de la vela. Lamentablemente no se ve con claridad por ausencia de aluminio, que inmediatamente atrás del mástil se inician las turbulencias y sólo se mencionan con la letra A las turbulencias más nítidas en el borde de fuga.

En la siguiente foto podemos apreciar el foque y una vela mayor excesivamente cazada.



La posición de las velas mostrada en la foto no se emplea en navegar sino como método para volcar la embarcación, como suele suceder a quienes se inician en la navegación y a algunos que tienen la mente fuera del bote...

Se puede ver que el foque no logra adherir el flujo de sotavento. Y en la mayor podemos ver que el flujo choca con la superficie de barlovento de la vela y se forma un “colchón” de aire que se transforma en un obstáculo, tal como vimos en una foto anterior de una terraza en la playa de La Herradura.

A pesar de lo notable del experimento, lo que vemos en las fotos es sólo una aproximación de lo que sucede con el flujo de aire cuando se encuentra en situación similar a la del agua de las fotos.

El aire tiene menos masa que el agua y por lo tanto menos inercia. Eso significa que puede seguir, a la misma velocidad que el agua, un recorrido más curvado y mantenerse adherido a la superficie de las velas.

El aire tiene mayor viscosidad cinemática que el agua de la foto lo que hace disminuir el número de Reynolds y por lo tanto el fluido tarda mucho más en desprenderse de la superficie de sotavento de la vela de lata y por lo tanto tarda más que el agua en iniciar las turbulencias que se aprecian en la foto.

Aclarado lo anterior, podemos asegurar que en la primera foto, a la velocidad del ensayo seguramente no existirían zonas de turbulencias en la zona cubierta por las velas, ni de separación del flujo que se aprecia en el foque de la segunda foto.

Podemos y debemos agradecer el ingenio del experimento mostrado, que ha sido un valioso aporte para entender el comportamiento del agua bajo estas condiciones. Sabemos ahora que el comportamiento del aire en movimiento tiene características físicas diferentes a las del agua, principalmente en la capacidad de mantenerse adherida a una superficie curvada, que es lo que nos interesa.

E.- Adhesión.

Es la atracción entre la superficie de dos cuerpos. Las dos superficies adyacentes pueden tener una composición química diferente. Por ejemplo, si se introduce un objeto en agua y después se saca, parte del agua quedará en el objeto. Decimos que está mojado, pero es agua adherida al sólido.

La fuerza de atracción implicada se debe a “interacciones electromagnéticas producidas por variaciones en la distribución de electrones en las moléculas de las superficies enfrentadas”. (¡ uuf, que difícil !) Sin embargo esta explicación es una demostración que el origen de la materia es uno solo, aun cuando las agrupaciones de las mínimas partículas es diferente.

Sin embargo si volvemos a la definición de la materia, las moléculas que se mueven con erráticas direcciones enfrentadas y comprimidas tienden a formar un solo cuerpo. Esos cuerpos se **adhieren**

La distancia entre las moléculas de las superficies es un factor determinante en la fuerza de adhesión ejercida. Si dos placas absolutamente lisas y planas se ponen en contacto, es necesario aplicar una enorme fuerza para separarlas. Quien descubrió este fenómeno levantó un auto con dos placas metálicas pulidas como espejo. Obviamente una de ellas estaba solidaria al auto.

Tanto el aire como el agua no necesitan que las superficies se encuentren lisas como espejo, porque su condición de fluido permite un contacto en toda la superficie para que se adhieran a la superficie de cualquier cuerpo. El aire se adhiere a la superficie del agua como si se tratara de un cuerpo. Cuando el viento sopla por sobre la superficie del agua quieta arrastra partículas de agua de la misma forma que arrastra granos de arena. Las partículas de agua se encuentran cohesionadas entre ellas, no así los granos de arena.

La adhesión explica el fenómeno de las **capas límites**, efecto muy importante en la relación de nuestras velas con el aire y de nuestro casco con el agua, tanto en el arrastre en ambos elementos como en la generación de la fuerza de sustentación. Cuando se rompe la adherencia de la capa límite se inicia la etapa de mayor freno. Por tal motivo la superficie de un casco en contacto con el agua debe ser limpia y sin otras materias que interfieran en el grado de adhesión entre agua y casco.

F.- Cohesión molecular

Es la atracción que mantiene unidas las moléculas de una sustancia. La intensidad de esta fuerza determina que se trate de un cuerpo sólido o de un líquido o un gas.

En los gases, bajo condiciones normales, la fuerza de cohesión prácticamente no existe. Sólo se manifiesta si por acción mecánica un gas se comprime hasta licuarse. Este fenómeno fue descubierto por el premio Nobel de Física de 1910 **Johannes Diderik van der Waals**.

En los líquidos, la cohesión se refleja en la tensión superficial, causada por una fuerza no equilibrada hacia el interior del líquido que actúa sobre las moléculas superficiales.

El fenómeno de la capilaridad es producido por la **cohesión molecular** y **la adhesión** que es el fenómeno físico que explica que un fluido se pegue a otro cuerpo diferente. El agua moja a un objeto, porque la fuerza de adherencia es superior a la cohesión molecular del agua. Sin embargo existen líquidos en que es al revés o sea que predomina la cohesión molecular sobre la adhesión y ese líquido no moja. Ejemplo, el mercurio.

G.- Capa límite

Entender de qué se trata la capa límite es fundamental para entender muchos de los problemas de la navegación relacionados con la velocidad de nuestros botes.

Durante muchos años los investigadores no entendían la causa por la que todo lo conocido y estudiado para los gases ideales, o sea sin viscosidad, no era aplicable a los fluidos reales, o sea a los gases con viscosidad en movimiento.

El ingeniero alemán Ludwig Prandtl observó en 1904 que los flujos en contacto con una placa o superficie de un objeto, o en contacto con los costados de un canal, pueden separarse en dos regiones principales. La región próxima a la superficie del cuerpo, que está formada por una delgada **capa límite** de fluido en donde se concentran los efectos viscosos, y en el resto del campo del fluido. Fuera de esta capa límite, se pueden desprestigiar los efectos de la viscosidad, y pueden emplearse las ecuaciones matemáticas más sencillas para flujos no viscosos.

Todos los elementos en contacto con un fluido tienen adherido permanentemente en toda su superficie una delgada capa del fluido en que se encuentran inmerso, ya sea agua o aire. Si se trata de un atleta que está corriendo, esta capa lo acompaña y según sea la velocidad, la forma y el tipo de superficie de cada parte de su cuerpo, esta capa cambia y adquiere formas y espesor diferente.

Efectivamente, cuando una placa estacionaria, o superficie de una vela o casco del barco entra en contacto con un flujo, (aire o agua) en vecindad de la superficie de contacto se produce una fuerza retardadora sobre el flujo. Una parte del fluido está **adherido** a la superficie y casi sin movimiento. Esta capa es la que está en contacto con el resto del fluido que se desplaza libremente. Es precisamente en el límite externo de la capa límite o **“frontera”** en donde se provocan las fuerzas retardadoras o de arrastre o de fricción, que provocan el freno al desplazamiento.

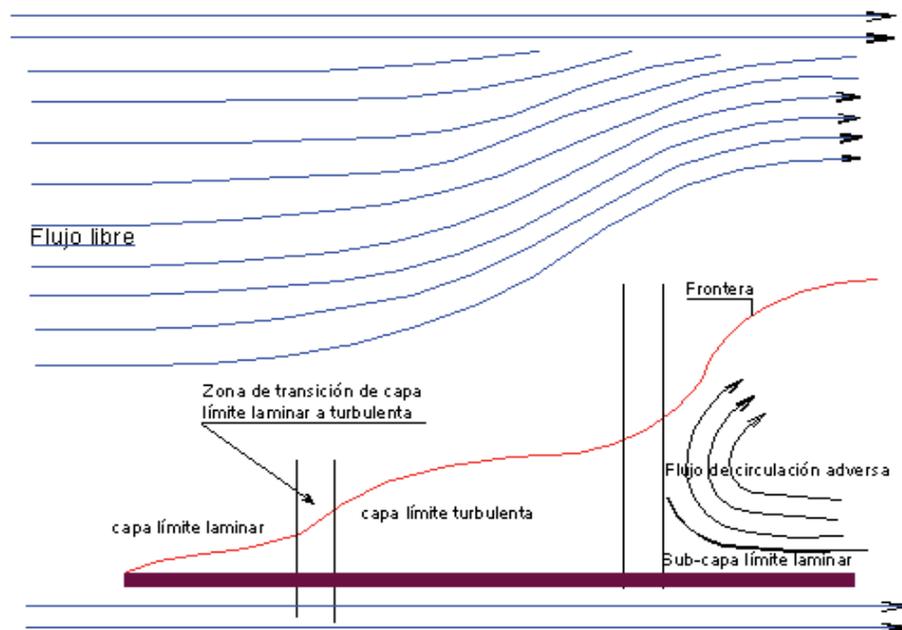
Fuera de esta capa límite, el fluido se mantiene inalterable a este efecto y sigue su rumbo. A medida que observamos “agua abajo” de la placa en contacto, encontramos que el fluido adherido a la placa también ejerce una acción retardadora sobre el fluido que se encuentra sobre él, lo que provoca un aumento en espesor de la capa límite “aguas abajo” o sea se hace más gruesa.

Esta capa límite, según la velocidad del flujo libre o de la distancia desde el punto de contacto con el flujo, y del espesor, puede ser laminar o turbulenta.

Se llama laminar cuando las “láminas” de agua se desplazan ordenadamente.

Podríamos afirmar que un casco de fibra, que tiene 8 milímetros de espesor medidos fuera del agua, al momento de desplazarse en el agua tiene en la zona de la proa un espesor de 8 mm. de fibra más 1 mm de agua y que a los 5 metros más hacia popa el espesor del casco es de 8 mm de fibra más 10 mm de agua aproximadamente.

Nuestro “casco” es en la práctica, mucho más pesado.



Esquema de una capa límite sobre una placa lisa

Es difícil determinar con exactitud el espesor de esta capa límite a lo largo de la superficie de la placa, sin embargo podemos decir que es la zona donde la velocidad del fluido está dentro del 1% de la velocidad del fluido libre, y que en el croquis se define como “frontera”. Con poca exactitud, pero para formarse una idea, una capa límite laminar puede tener 1 mm. y la capa límite turbulenta 15 mm, dependiendo de las condiciones de velocidad, viscosidad, rugosidad, y largo de la placa.

Existe una fórmula que determina aproximadamente el espesor de la capa límite laminar de un flujo sobre un punto de una placa plana, lisa en que la incidencia del flujo es paralela a la placa. No conozco al autor, pero dice:

Espesor C.L. laminar = 5,48 dividido por Raiz del N° de Reynolds, por distancia al punto.

$$\text{Espesor} = \frac{5,48 \times D}{\sqrt{Re_x}}$$

Para determinadas condiciones de velocidad y forma del objeto, la capa laminar ofrece menos resistencia al rozamiento que la turbulenta, pero tiene el problema que **se separa o desprende** antes que la turbulenta, formando estelas, turbulencias y un gran aumento de freno.

En la práctica cuando estamos navegando, nuestro casco tiene adherida adelante una **capa laminar** cuyo espesor es variable de acuerdo a la forma del casco, de la rugosidad, de la velocidad y de la distancia al punto de contacto con el agua. A continuación se genera una **zona de transición** en que comienzan a aparecer pequeñas turbulencias y más atrás una definitiva **capa laminar turbulenta**. Si la velocidad es mayor este proceso se acorta y se inicia una separación y reemplazo de la capa límite, que se desprende formando turbulencias, siendo reemplazada por otra sub-capa.

Aunque la capa límite es delgada, juega un papel fundamental en la resistencia al desplazamiento o arrastre de los barcos en el agua, de las velas en el aire, y en la generación de fuerzas por tracción o sustentación.

H.- Separación o desprendimiento de la capa límite

La separación de la capa límite se produce cuando es laminar o cuando es turbulenta.

Esta capa límite, ya sea por la forma del objeto o por la velocidad del fluido que modifica el estado de presión a que se encuentra, **se separa o se desprende** de la superficie del objeto provocándose un movimiento de las moléculas en absoluto desorden, que llamamos estelas o turbulencias. Este proceso es acompañado por la formación de una nueva sub-capa límite y por la formación en contacto con el casco o vela de una corriente o flujo de **circulación adversa** o sea en sentido contrario al del flujo libre. Resultado: un enorme freno.

El concepto de capa límite turbulenta es distinto de desprendimiento o separación de la capa límite que se manifiesta como gruesas turbulencias.

Cuanto mayor es el tamaño de la estela detrás del cuerpo, tanto mayor es la fuerza de arrastre o freno que sufre el objeto.

“La energía que se necesita para provocar la estela o agitación del agua la sacamos de la única fuente de energía que disponemos: el viento. O sea estamos gastando energía en agitar agua en desmedro de la velocidad.”

Debemos preparar el casco para que las capas laminares no se separen o desprendan de la superficie del casco y de las velas en forma temprana y de esa forma retrasar la generación de freno por turbulencias.

I.- Número de REYNOLDS (Re)

El flujo laminar se define como aquel que se mueve en capas o láminas y que se deslizan suavemente sin intercambio molecular. Normalmente se asocia a flujos de baja velocidad o a aquellos de alta viscosidad. En cambio en el flujo turbulento las partículas del fluido se mueven desordenadamente con movimientos erráticos.

En 1880 el científico Osborne Reynolds, estudió la transición entre el flujo laminar a turbulento para distintos tipos de fluidos que se desplazan por el interior de una tubería.

Descubrió que líquidos totalmente distintos, como aceites, petróleo, agua, que transitan por el interior de una tubería de diámetro determinado, se comportan en forma similar al momento de pasar de régimen laminar a turbulento.

Relacionando en una fórmula, la densidad, velocidad, y viscosidad de un fluido con el diámetro del conducto, llegó a determinar números que no tienen dimensión, pero que establecen un criterio mediante el cual, se puede determinar el estado de un flujo en el interior de una tubería o en un flujo abierto.

A través de este experimento descubrió que independientemente del fluido que se trate, presentan el mismo comportamiento cuando el resultado de la aplicación de la fórmula tiene el mismo valor. O sea, el agua que fluye por el interior de una tubería tiene un régimen laminar o entra en transición cuando el Re tiene un valor determinado del mismo modo que un aceite o un gas, cuando tiene el mismo Re.

Reynolds descubrió que en flujos cerrados como el interior de una tubería o un canal, cuando el número resultante de la aplicación de su fórmula es menor de 1000 el flujo es laminar, y a partir del número 2.000 cualquier flujo pasa de laminar a turbulento.

Estos números también dependen del estado inicial del fluido. O sea que si se hace el mismo ensayo que hizo Reynolds en un laboratorio, con un líquido absolutamente en reposo, el flujo puede ser laminar hasta un número de 40.000 y al revés si se hace el ensayo con aguas agitadas, la turbulencia se inicia con números inferiores a 1.000

El número de Reynolds se calcula en **flujos abiertos**, como el del viento sobre una vela, o del agua sobre el casco de una embarcación, de la misma forma que en los flujos cerrados, como en una tubería, pero en lugar de emplear el diámetro del conducto, para la fórmula se emplea la distancia desde el punto de contacto del flujo con el objeto con el punto en que se desea saber qué tipo de flujo existe en ese punto.

Flujos abiertos, a diferencia de los que están en el interior de una tubería son aquellos que se manifiestan en ambientes libres sin límites o fronteras.

En flujos abiertos, la etapa de transición de laminar a turbulento, sobre una placa plana, se estima que comienza cuando este número es mayor que **500.000** y se considera completamente **turbulento cuando es superior a 1.000.000**. El criterio explicado para del estado de agitación del flujo antes de iniciarse el cambio de régimen es también válido para flujos abiertos.

La separación de la capa laminar o desprendimiento de la capa en flujos abiertos se produce con número de Reynolds cercanos a 2.000.000, y es una cifra que siempre está en discusión por las múltiples variables que intervienen, partiendo por el estado inicial del flujo. Si la agitación del flujo es grande, la separación se iniciará tempranamente y por lo tanto un mayor freno.

Observen el estado de agitación del agua en esta foto. Obviamente la del aire no se ve.



Si navegamos en aguas agitadas tendremos el inicio de la turbulencia en nuestra capa límite mucho antes que si navegamos en aguas quietas. En aguas quietas tenemos menos freno por roce. En vientos limpios tendremos menos freno en toda la arboladura que navegando detrás de toda una flota. Por eso en regatas es tan importante buscar aguas y viento limpio, especialmente en las partidas.

Según esto, ¿qué lado de la cancha de regata escogería? Una con oleaje o una con aguas quietas?...¿Será conveniente partir detrás de toda la flota? ¿Será conveniente el lado con más oleaje?

Esto explica la importancia de partir bien en una regata.

Los que parten en punta, y los que eligen más aguas quietas, sacan enorme ventaja a los más retrasados que deberán “usar” aguas agitadas. Agréguese el efecto del viento sucio.

Los que parten atrasados tendrán un agua y viento agitado y por lo tanto un freno significativamente mayor a los que van en punta, por el inicio de las turbulencias en el casco y en las velas.

Quienes participamos en regatas sabemos que los que parten adelante obtienen una inexplicable, mayor velocidad que los rezagados. Muchas veces empezamos a revisar nuestros ajustes en busca de mayor velocidad, sin embargo a partir de ahora sabemos que la menor velocidad de nuestro bote respecto a los que partieron en primera fila no se debe a la forma de nuestras velas y motores sino al mayor freno que nos generan los fluidos agitados al entrar en contacto con la superficie del casco y de las velas.

El número de Reynolds en flujos cerrados se expresa como sigue:

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{d \times V \times D}{\nu}$$

En que:

V es la Velocidad media del fluido,

d es la densidad del fluido.

D es el diámetro de la tubería o longitud del objeto en flujos abiertos

ν es la viscosidad dinámica

En flujos abiertos se elimina el factor “diámetro” y se reemplaza por L que es la distancia del punto de contacto al punto en donde se desea conocer el valor del número de Reynolds.

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{d \times V \times L}{\nu}$$

He citado expresamente los términos flujos abiertos y flujos cerrados para diferenciar el comportamiento de los flujos en estos dos ambientes, que como hemos visto son totalmente diferentes.

He tenido acceso a importantes textos de navegación que caen en el error de aplicar los principios de sistemas de flujos cerrados a un velero que actúa siempre en flujos abiertos, y por lo tanto sacan conclusiones totalmente erradas.

Con ese criterio todo el barco tiene siempre régimen turbulento en toda su superficie, lo que no es efectivo.

Nuestros botes y velas están insertas en sistema de flujo abierto, lo que quiere decir que perfectamente podemos optar a navegaciones en que nuestro casco y nuestras velas tienen adherido una capa límite laminar, que es la que menos freno provoca al andar, al menos en una parte de nuestro casco.

Tal como se indica más adelante, con bajas velocidades, bien puede ocurrir que la mitad del casco esté con capa límite laminar y el resto capa turbulenta pero sin que se produzca la separación o desprendimiento de las capas mencionadas y por lo tanto con poco freno. El grave problema es la separación o desprendimiento de la capa límite.

9.- Viento sucio.

No nos referimos a la calidad o pureza del flujo en el que navegamos sino a su estado de agitación como masa.

Hemos visto que cuando un fluido, que ahora llamamos viento, se topa con un obstáculo, se crea a sotavento una estela que se caracteriza por ser una zona de turbulencias y remolinos sin rumbo fijo.

La cantidad de zona afectada a sotavento depende de la forma del obstáculo, la superficie expuesta al viento franco, la altura, la velocidad del viento, y el tipo de obstáculo, y de la temperatura del aire.

En el mar abierto lo más probable es encontrar como objeto de interferencia a otra embarcación, por lo que debemos evitar navegar a sotavento de ella. En regatas es lícito y es parte del juego “meter en el cono” o en viento sucio a la embarcación contrincante, para que pierda altura y velocidad.

En la ceñida el que “manda” es el que va adelante y en la empopada el que tiene la posibilidad de desventar al otro es el que va atrás, pero cuidado que si adelanto a un adversario mucho antes de la boya de sotavento el papel cambia, y el objetivo de esa “pata” es virar primero la boya.

A quien le interese saber hasta que distancia puede afectar a otra embarcación, con un viento determinado, debe hacerlo preferentemente antes de iniciar la regata, pasando por barlovento de la bandera del juez de partida, o de otra embarcación.

Los autores que tratan este tema, entran a filosofar y dar reglas para dimensionar el efecto de un obstáculo sobre el viento, y no se ponen de acuerdo, por lo que diremos al respecto que en plena regata queda poco tiempo para efectuar cálculos teóricos y es más práctico en pleno movimiento mirar las velas del contrincante si están siendo afectadas, por la acción de nuestras velas. Si es así, entonces estamos sacando ventaja sobre ese contrincante. Ahora si nosotros somos los afectados, vamos a saberlo inmediatamente sin necesidad de cálculo alguno.

Para escapar de esa situación, existen varios sistemas que se aplican según el caso, y la cantidad de botes que tenemos encima. La idea es volver al viento limpio, ya sea virando por avante o cayendo para aumentar velocidad a costa de perder altura, o disminuyendo nuestro andar hasta que el “agresor” nos adelante. Si el que nos está tapando también vira para seguir perjudicándonos, podemos seguir con los virajes, sólo si somos capaces de obtener una ventaja en cada viraje a costa de que otros que no tienen el problema nos saquen a ambos, más ventaja. Si el otro es más rápido o vira más rápido, debemos optar por frenar o caer más a sotavento. Si el agresor también cae a sotavento, podemos recurrir a un protesto. Tratar de ceñir más que el contrincante cuando estamos tapados con viento sucio es un muy mal negocio.

Por regla general, un mal negocio es preferible terminarlo pronto, por lo que es conveniente dejarlo ir y no seguir cayendo en el hoyo con gran beneficio para el resto de los participantes, y aprender la lección.

Pero lo mejor en estos casos es anticiparse y así evitar caer en el viento sucio, ya sea de elementos de la costa, que se supone ya estudiamos días antes de la regata o en el que nuestros contrincantes tratarán generosamente de suministrarnos la mayor parte del tiempo.

De acuerdo a esto veremos lo importante que es en la partida salir bien para no quedar “abajo de la flota” o en el viento sucio de toda la flota sin esperanzas de poder aumentar la velocidad. Del mismo modo navegar buscando siempre el viento limpio, y aguas menos agitadas. Recordemos que de ese modo podemos optar a menos freno por la formación de estelas en las velas y casco.

Una gran experiencia se obtiene navegando en ríos o canales que van serpenteando y que tienen obstáculos como pequeñas colinas o frondosa vegetación, como es el caso del maravilloso Calle-Calle o el río Cruces en Valdivia. En días de poco viento se puede apreciar zonas cuya superficie es un espejo y otras en que el viento delata su presencia.

Cuando sopla mucho y se trata de sobrevivir o no trabajar tanto, las zonas de poco viento son aquellas en que el agua no vuela o en donde la vegetación genera viento sucio. Felizmente el viento sucio no ensucia ese maravilloso e idílico paisaje que se entrega generoso al visitante.

10.- Comentario náutico

Aplicando las fórmulas mencionadas anteriormente, podemos afirmar que con **20 nudos de viento limpio aparente, un foque que no tiene la interferencia de un mástil mantiene un flujo sin separación hasta 1,50 metros medidos desde el punto de ataque,** Esta importante observación nos permite fijar criterios para determinar el tipo de vela que podemos usar para evitar aumentar el arrastre en todo el velamen a determinada velocidad de viento aparente. Lo repetiremos en el tema afinamiento.

Los tripulantes de embarcaciones mayores emplean velas con gran cuerda, o de bajo aspecto con estas condiciones de viento, en ceñidas, porque son las que vienen con la embarcación o son las que el fabricante proporciona. Una vela como las mencionadas no siempre genera una mayor velocidad, porque provocan mucho freno, escora y abatimiento. Si el abatimiento es exagerado, nuestro quillote entrará en pérdida de sustentación

Los J24 tienen un quillote muy corto y de gran cuerda. La escora que adquiere con una génoa grande y una mayor muy cazada en una ceñida, provoca un enorme abatimiento y un enorme freno por turbulencias, y es el mejor ejemplo de lo expresado en el párrafo anterior.

El largo de la cuerda y la forma de la vela es importantísimo y determinante para el inicio de las turbulencias o mayor arrastre que se puede generar sobre la mayor. **Digamos que si el inicio de la separación es temprano, las consecuencias para la potencia hacia popa serán desastrosas, agregando que el arrastre aumenta al cuadrado.**

Cuando la mayor recibe aire turbulento el inicio separación y turbulencias se producen mucho antes que si el flujo que recibe es ordenado o laminar. Dicho en términos más formales, la cantidad de movimiento de esa masa desordenada de aire es fácilmente superior a la viscosidad del aire.

La formación de estelas es el freno mismo. Cuando recibimos viento sucio la formación de estelas es inminente. Cuando navegamos detrás de toda la flota tendremos aumento de la turbulencia o freno en el casco y en las velas. Debemos buscar con urgencia agua y viento limpio

Además, lo que sucede con la mayor, depende mucho de la interferencia del mástil. Se llama **windage**. Como estamos hablando de arrastre, el mástil proyecta su sombra turbulenta o viento sucio más allá de la relinga del gratil, sobre todo por sotavento, lo que desde el punto de vista de la potencia de nuestra vela es perjudicial.

Es importante hacer notar que las **fuerzas de arrastre, o de oposición al movimiento** tienen la componente velocidad al cuadrado, lo que explicaría entre otras cosas porqué un auto, en recorrer la misma distancia, gasta más bencina cuando va a mayor velocidad que despacio, aun cuando el motor está más tiempo funcionando.

Si la suma total del arrastre provocado por el viento en nuestro velero es de **16 kilos**, con una

velocidad de viento 4 metros por segundo, cuando el viento aumente a 6 metros por segundo, el arrastre aumentará a lo menos a **36 kilos**. Del mismo modo una pequeña disminución en el arrastre, significará una gran ganancia en velocidad.

Dijimos que cuando navegamos empopados toda la carga del viento es aprovechada en movimiento, pero cuando ceñimos, tenemos que preocuparnos del arrastre o freno, de las superficies que exponemos a la acción del viento y la relación casco agua.

Para disminuir del arrastre, la velocidad del viento es una variable que no depende de nosotros, sin embargo la variable superficie expuesta sí depende de nosotros. Por esta razón a quién le importa, ganar un poco más de velocidad, o unos metros en ceñida, usa ropas especiales ajustadas al cuerpo, cabos de acero en lugar de cabos gruesos trenzados, mástiles de sección aerodinámica, con las drizas por el interior del mástil. Del mismo modo es importante como se ubica a la tripulación de manera que no opongan gran superficie al viento, uno detrás del otro, o acostados, guardar las velas de repuesto o spinnaker bajo el casco, eliminar banderas y otros elementos que presenten superficie al viento.

La posición de la tripulación es importantísima, no tan solo como contrapeso, sino para establecer la posición de la orza o quillote respecto al rumbo y al equilibrio. La orza trabaja como un ala de avión y según el sentido del ataque del flujo tenderá a hundir la proa, trabajar contra la escora y aumenta el arrastre, o a levantarla, disminuir el freno del agua y tendencia a escorar más el casco. La elección depende de la velocidad, del contrapeso y de la superficie de las velas. Es un tema muy importante en regatas.

La posición de la vela respecto a la acometida del viento o ángulo de ataque, y la forma que se le da después de usar todos los ajustes, debe ser la adecuada a las condiciones de viento y mar. Recordemos que una vela profunda tiene más potencia que una vela plana pero tiende a generar más arrastre. Una vela plana tiene menos potencia y menos arrastre.

Es común ver a tripulaciones apretar al máximo la escota para llevar la posición de la botavara al centro, coincidiendo con la línea de crujía, “para ceñir más“. Las variables que intervienen para lograr el cazado justo o trimado de las velas son muchas, y la mayoría de ellas se encuentra bajo el agua.

Una vela que va mal trimada, o sea con exceso de cazado, equivale a navegar con el freno de mano puesto, porque tendremos turbulencia en toda la superficie de sotavento de nuestra vela. Muchas veces la sensación de ceñir más nos hace perder de vista el arrastre, abatimiento.



La mala costumbre de llevar cazada al máximo la vela mayor bajo cualquier condición de mar y viento es un mito que probablemente nació con el concepto de disminuir arrastre. Otros afirman que se emplea como timón o elemento estabilizador para evitar cabeceo. Otros consideran que es una forma de mejorar la eficiencia de una génoa aumentando la diferencia de presión entre los costados de las velas. Otros afirman que es una receta de la Clase... ¡¡¡Mitos equivocados, mitos errados que se mantienen en la mente de nuestros navegantes.

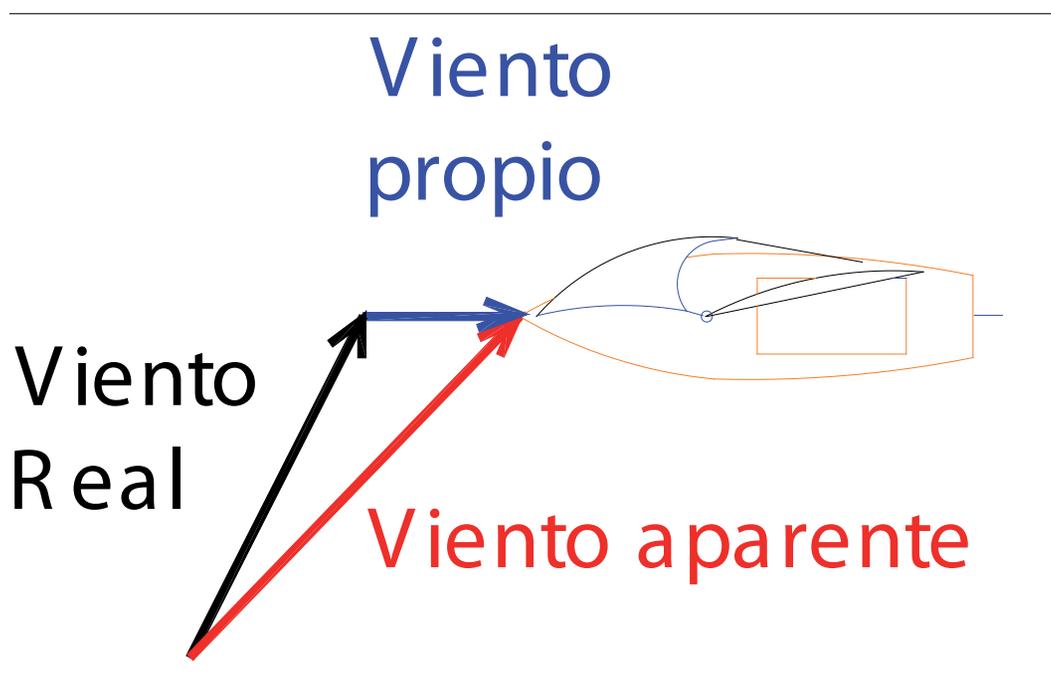
La vela mayor tiene una razón de ser, una función determinada y es importantísima para generar potencia con menos arrastre, siempre bajo la condición de tener un ángulo de ataque relacionado con el flujo que recibe de la génoa, en todo el alto de la vela. Debe tener la profundidad inferior o igual a la profundidad límite, debe tener un largo de cuerda que impida la formación de turbulencias, especialmente por sotavento (capa límite) y debe mantener un ángulo en el borde de fuga de acuerdo al rumbo real en que se navega,.... entre otras cosas.

Una vela plana y cazada sólo provoca menos arrastre cuando coincide con las condiciones enumeradas. Si una de esas condiciones no es considerada o no se cumple, se convertirá en un hermoso rabo que sólo genera freno.

Las velas de textura tiesa y superficie muy lisa en general son sensibles a la mano y rápidas en ceñida para el viento justo. Por lo mismo menos eficientes para otros vientos, a menos que acepten modificaciones de su forma a través de los ajustes. La elección de una vela en regata no es una cosa menor y es decisiva en el resultado final.

“No debemos olvidar que las regatas se ganan o se pierden a veces por un metro de diferencia, y cada detalle es importante”

11.- Viento real, viento propio y viento aparente



Viento real es el que percibimos cuando estamos quietos en un ambiente abierto y libre de obstáculos.

Viento propio es el que percibimos cuando estamos en movimiento y en ausencia del viento real.

Viento aparente es la resultante de la acción de dos vientos, uno el viento real y, el viento propio. Es la que empleamos para orientar nuestras velas, el viento que empleamos para navegar.

Normalmente estos vientos se consideran, para este efecto, sólo en el plano horizontal y se representan como vectores, es decir, tienen sentido (flecha) y dimensión (largo)

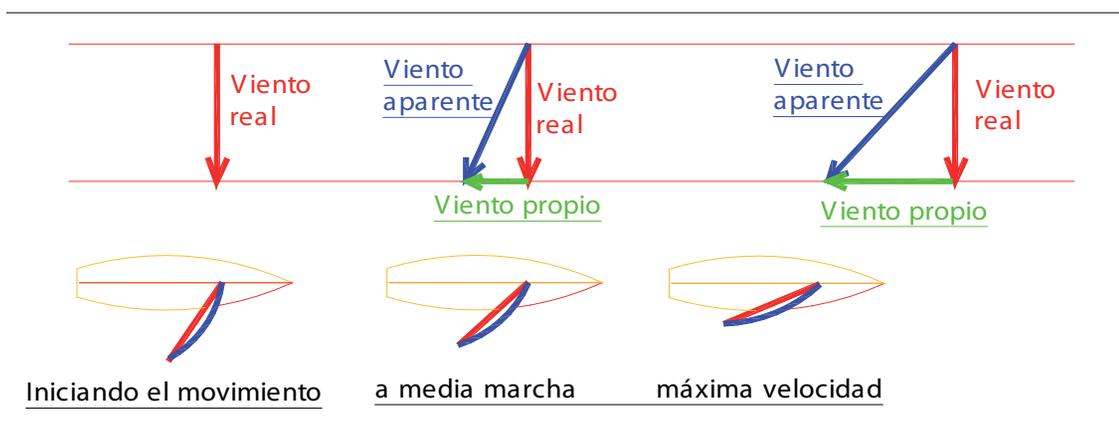
Si a un objeto le aplicamos una fuerza en un sentido y después otra en otro sentido, la **resultante** de estas fuerzas o resumen del efecto conseguido con la aplicación de estas dos fuerzas, equivale a que hayamos aplicado una sola fuerza con el objeto de dejarlo en el nuevo lugar.

El viento aparente es un nombre poco adecuado para este viento, porque cuando estamos navegando es el que nos importa, es el que muestran realmente los catavientos, el que tenemos que considerar para determinar el ángulo de incidencia de nuestras velas, es en definitiva el más importante y lo llamamos “viento aparente”. En fin, ese es otro problema.

A manera de ejemplo, si por una carretera recta vamos en un auto que lleva una bandera adelante y no hay viento real, la dirección del viento propio será exactamente en contra de la dirección de nuestro desplazamiento. Ahora en caso que exista viento real, la bandera tendrá una dirección distinta a nuestro movimiento. En el caso que nuestra velocidad sea 50 k/h. y la velocidad del viento real sea también de 50 k/h y su dirección perpendicular a la carretera, entonces la bandera tendrá un ángulo de 45 grados y el vector velocidad será de 70,71 kilómetros por hora. (Pitágoras)

Puede deducirse además que, aun cuando el viento real permanezca inalterable, un barco que parte navegando a la cuadra y aumenta su velocidad crea un mayor viento propio, entonces el **vector viento aparente** también aumenta. El efecto sigue aumentando hasta que la velocidad del barco puede llegar a ser mayor que el viento real y lo limitará sólo la resistencia al avance y el viento disponible.

Para comprobar estos conceptos haga este sencillo ejercicio: inicie usted la navegación a la cuadra, partiendo de velocidad cero, y manteniendo el rumbo. Verá que la posición de las velas al inicio está aproximadamente a 45° y que a medida que aumenta la velocidad, lo que es lo mismo que aumente su **viento propio**, necesitará ir cazando o cerrando la vela, tirando de la escota cada vez más, hasta llegar a una posición de la vela tal como si fuera en ceñida.



Vela cambiando de posición de acuerdo al viento aparente

En forma práctica se ha determinado que la máxima velocidad se obtiene navegando a la cuadra o por el través. Por ejemplo con 8 nudos de viento real, navegando a la cuadra y con una embarcación adecuada, se puede lograr una velocidad superior a 8 nudos, cosa que jamás se podría lograr navegando empopado. Y si se lograra merced a una ayuda externa, entonces las velas permanecerían desinfladas

Alrededor de los años 80, el famoso navegante norteamericano Dennis Conner organizó la construcción de un catamarán de nombre Stars and Stripes, de 18,1 metros de largo con una vela rígida parecida a las alas de un Boeing 757 de 27,43 metros. Logró navegar en rumbo cercano a la cuadra, al doble de la velocidad del viento real.

12.- Comentario náutico

Poder entender claramente el concepto de viento aparente es de suma importancia en la navegación competitiva y se aplica en diferentes situaciones. Es común que tripulantes experimentados cometan errores en este tema más frecuentemente de lo que pudiera imaginarse. A manera de ejemplo podemos analizar rápidamente los siguientes casos:

- 1.- Navegando más bajo que la cuadra, el barco es impulsado por el viento y afectado además

por las olas que van en el sentido del desplazamiento. Esta fuerza esporádica que acelera y frena al barco en la resaca, provoca un cambio en el viento propio y por lo tanto a la resultante o viento aparente. Cuando la ola nos acelera, lo lógico es cazar o tirar más la escota o tesando, y cuando viene la resaca y frenazo, soltarla o lascar. Esto se hace en la medida que la vela vaya “pidiendo”, con acciones suaves, para mantener el ángulo de incidencia óptimo del viento.

Otros famosos timoneles de popa resuelven el problema variando el rumbo sin mover la posición de la vela.

2.- Cuando en situación similar, navegando por la aleta vemos una ola adecuada para entrar en planeo, entonces debemos ir a buscarla antes de que nos sobrepase navegando más hacia la cuadra, con el fin de entrar en ella con más velocidad cazando la escota, para cuando entremos en ella, efectuar un impulso de bombeo ayudado con del cuerpo y velas, y caer con otro impulso. La posición de la vela debe acomodarse a la nueva velocidad, que modifica nuevamente el viento propio y el aparente. En este momento es permitido gritar de alegría por el placer que se siente cuando duplicamos la velocidad y nuestro bote surfea hasta que la ola nos deja, viene el frenazo de la realidad y volvemos al caso anterior y así sucesivamente hasta que aparezca otra ola digna de nuestro esfuerzo.

“Dicen nuestros queridos viejos, que la alegría para que sea tal, debe ser esporádica, ya que si se convierte en permanente, pasa a ser rutina”.

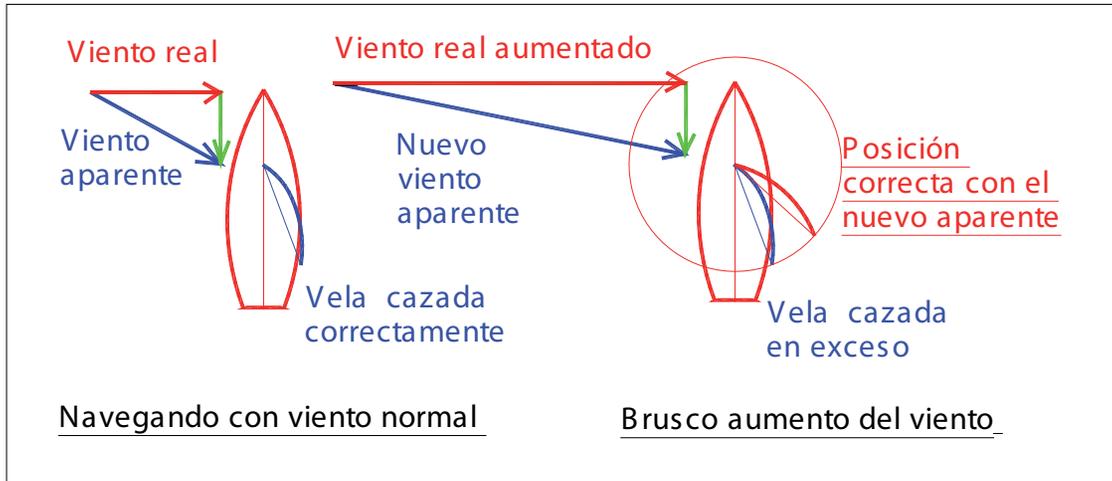
Otro caso:

3.- Virando por avante para seguir ciñendo por la otra banda. Normalmente proel y capitán cazan las escotas inmediatamente a la nueva posición de ceñida sin esperar detectar el viento aparente. En la mayor ni siquiera se suelta la escota y queda en la misma posición en que venía. Efectivamente cuando un barco vira, pierde mucha velocidad, por lo que el viento propio casi desaparece, y el aparente cambia de dirección y dimensión. Pasa a predominar el viento real.

El trimado de las velas debe ajustarse a esa situación, cazándola poco a poco para que tome velocidad, ganando aparente hasta llegar a la posición óptima de ceñida, aquella donde están las marcas, y en ese momento fijarla con las mordazas. La mala costumbre del capitán, y de la tripulación de virar sin soltar la escota de la mayor, produce en la virada un aumento de la escora (pérdida de energía) y un abatimiento innecesario. Si el viento es muy fuerte, este error puede provocar el volcamiento.

Otro caso:

4.- Cuando vamos ciñendo y nos llega una racha o brusco aumento de viento real, el viento aparente, que es el que usamos para adecuar la posición de nuestras velas, cambia de dirección, y en magnitud, más hacia la cuadra, por lo que si mantenemos cazada nuestra vela en la posición original, gran parte de esta ganancia de energía la vamos a desperdiciar en abatimiento, escora, y pérdida de sustentación, pero si soltamos la escota un poco antes de que nos llegue, y de a poco la vamos cazando cuando nos llega, podemos aprovechar esa mayor energía en aceleración y ganancia de barlovento.



La otra alternativa teórica es tomar el rumbo de acuerdo al nuevo aparente que impuso la ráfaga de viento, pero como se trata de un golpe de viento, del que poco sabemos hasta que nos está llegando, es difícil mover el bote con la velocidad que esa solución requeriría.

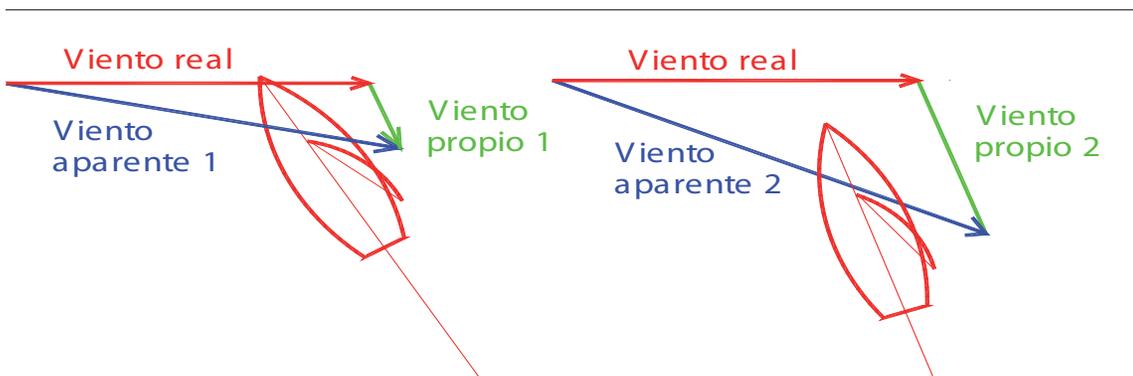
5.- Íbamos navegando en un J24 con viento de 18 nudos con la genoa más grande (primer error de una tripulación liviana) y tratando de ceñir lo máximo. Después de un viraje por avance quedamos navegando con la genoa muy abierta para el rumbo pretendido. Por cualquier motivo no se podía ocupar la manivela por lo que se le pidió al timonel que se aproara un momento y de ese modo poder recoger escota. ¡Mala decisión!!! A fuerza de brazo se pudo cazar la vela en la posición más apretada, pero con ese mar el frenazo fue inmediato. Cuando el timonel salió de la posición aproada y entramos en ceñida el barco casi se vuelca. ¿Pecado?.... No considerar el aparente.

A manera de ejercicio.

Determine usted, suponiendo que ambos botes son idénticos y reciben el mismo viento real,

1.- ¿Qué bote puede tomar un mejor ángulo de ceñida respecto al viento real, uno que navega lento o uno que va con mayor velocidad? No tome en cuenta el abatimiento.

El croquis siguiente es una ayuda.



2.- Dos botes diferentes van navegando a la cuadra, con igual rumbo, y deben recorrer 500 metros hasta una meta, línea perpendicular a la crujía ¿Qué bote abate más, el que va más rápido o el bote más lento?

Debemos saber que el viento nunca tiene una trayectoria recta y que la masa de aire se desplaza variando su rumbo y velocidad en forma permanente. Nuestra velocidad también varía permanentemente. De acuerdo a esto, si queremos sacar el máximo provecho a la energía que nos proporciona el viento aparente, nunca deberíamos fijar las escotas ni mantener el timón en una misma posición.

Normalmente lo hacemos por fatiga, cansancio, por comodidad, por flojera o porque debemos ejecutar otra acción mientras timoneamos, pero debemos saber que tiene un costo para la velocidad.

Tercera Parte

Dedicada al agua dulce navegable, al mar y sus características, a las olas y mareas.

13.- El Agua

Independiente de las muchas importantes virtudes que atribuimos al agua como elemento, a nosotros nos interesa saber como se comporta cuando conforma grandes superficies navegables, como los océanos, lagos, embalses, y cómo influye sobre nuestra embarcación cuando navegamos sobre su superficie.

El agua dulce tiene distintas características al agua del mar y en movimiento o cuando nos desplazamos en su superficie, dichas diferencias aumentan.

En lagos, ríos y embalses es más liviana que el agua de mar, o sea que nuestra embarcación estará más sumergida que en el mar. Dicho de otra forma, en el mar un bote flota más.

14.- La ola de agua dulce

El viento es la principal causa de la formación de las olas. La ola de lago es de longitud de onda más corta y más rápida que la ola de mar. Se forma además con mucha facilidad con el mínimo viento.

El tamaño de las olas en un lago, depende de la velocidad del viento, del tiempo que permanece soplando, del largo de la superficie afectada por el viento (fetch) y de la profundidad del lago.

Estas variables han sido relacionadas matemáticamente para lograr determinar en forma teórica la dependencia de dichas variables. De tal modo que si se conoce la longitud del lago en el sentido del viento, la profundidad y la velocidad del viento, se puede determinar teóricamente la máxima altura de la ola provocada por ese viento.

Un ejemplo rescatado del libro **Essentials of Engineering Hydraulics** referido al lago Victoria que tiene 32 kilómetros de largo en la dirección del viento, de algún lugar del hemisferio Norte, preguntan lo siguiente:

- Cuando sopla un viento constante de **9 metros por segundo (32 k/h.)**:
 - ¿Cuál debe ser la profundidad mínima para que puedan producirse las mayores olas?
 - ¿Cuánto tiempo debe soplar el viento para generar las olas de mayor altura?
 - ¿Cuales son las características de dichas olas?

Las respuestas surgen de la aplicación de fórmulas y tablas diseñadas para el efecto por el método llamado **SMB ideado por Sverdrup, Munk y Bretschneider**.

De acuerdo a ese sistema de cálculo, que no desarrollaremos (por estar fuera de nuestro propósito) la respuesta es:

La profundidad mínima debe ser 11,50 metros,

El viento de 9 m/s debe mantenerse por 3,4 horas,

La longitud de onda es de 23 metros,

El período entre ola y ola es de 4 segundos,

La velocidad de la ola es de 11 nudos.

La altura de la ola es de 0,89 metros.

El ejemplo abordado es útil porque nos da una clara idea de la ola de un lago que es común en nuestro país. Naturalmente existen varias diferencias del ejemplo con el Lago General Carrera y con el lago Llanquihue, que son mucho más profundos y de mayor longitud. En ellos las olas suelen ser mucho más altas.

Para embarcaciones pequeñas esta ola es sumamente peligrosa ya que siempre tiene la intención de reventar y golpea muy seguido. Cuando un bote embarca a una ola, en pocos segundos tendrá la siguiente ola dispuesta a imitarla y así hasta naufragar, si es que no se toma la precaución de cambiar de rumbo o de andar, achicar rápidamente o “echar por la borda al tripulante más pesado”. Los antiguos navegantes derramaban aceite por barlovento para aminorar el efecto. Hoy el aceite es muy caro y debemos cuidar el medio ambiente.

Cuando se navega en la mitad o en sotavento de un lago y aumenta el viento, las olas grandes aparecerán pronto, por lo que es siempre recomendable buscar urgentemente la costa. Cercano a la costa, en un lago transversal, el viento y las olas son de menor dimensión, por lo que es la única alternativa aconsejable para enfrentar olas con algún grado de éxito. En un lago con viento, la ola que no embarca al menos moja, y siempre provoca problemas.

Nos ocurrió un día en que estábamos pescando en el lago Rupanco a bordo de un pequeño bote a remos cerca de la costa con mi amigo Remberto Cabrera. El agua era un espejo pero en par de minutos apareció el viento y en segundos, las olas como las que describo. El pánico entró en la tripulación. La única solución que se nos ocurrió para evitar que nos embarcaran las olas fue poner sentado en la popa a mi amigo que tenía anchas sentaderas capaces de cubrir la popa. Alegó mucho, pero entendió que era preferible soportar esa bajeza a tener que nadar con mucha ropa hasta la costa. Las olas reventaban en su espalda, pero llegamos a la costa, mojados, asustados, pero con una buena historia para contar.

La topografía de nuestro país hace que la mayoría de los lagos y embalses sean de forma alargada, siguiendo las quebradas y valles que van de cordillera al mar. Tal como vimos en el capítulo anterior, el viento, tiende a seguir la dirección de los valles y por lo tanto la ola también lo hace.

Siguiendo las leyes de los fluidos, el viento es mayor en centro de un canal, o de un valle o laguna, porque carece de roce o de obstáculos que lo frene, por lo que las olas mayores, y por lo tanto las corrientes mayores, también se encontraran en el centro. Para los navegantes, las gargantas o estrechuras por sus terribles aceleraciones por donde debe pasar el viento, madre de las olas siempre será un mayor obstáculo. Quien conoce el Lago General Carrera, en el sur de Chile, podrá contar la experiencia si es que sobrevivió a ella.

15.- El mar o la mar

Se emplea de las dos formas

Las propiedades físicas del agua de mar son en general análogas a las del agua pura, sin embargo por la gran cantidad de sales disueltas, la existencia de materias orgánicas e inorgánicas en suspensión hace que las fuerzas externas cambien su comportamiento, sobre todo cuando se encuentra en grandes concentraciones como los océanos.

A.- Salinidad

Es la cantidad de sales disueltas en una cantidad de agua. En la superficie del mar oscila entre 3,30 y 3,70 % y su variación se debe principalmente a los procesos de evaporación y precipitaciones y a

la formación de témpanos en los polos. Esta concentración de sales es superior a la que puede procesar nuestro organismo.

B.- Densidad La densidad del agua de mar varía entre 1.024 y 1.030 kilos por metro cúbico, dependiendo de la salinidad, la temperatura y en menor grado de la presión a que está sometida por la profundidad a que se encuentra.

**A mayor salinidad, mayor densidad,
A mayor temperatura, menor densidad,
A mayor presión mayor densidad.**

C.- Transmisión de sonido

En el agua las ondas sonoras, independiente de la frecuencia del sonido, se propagan a mayor velocidad y menor absorción de energía que en el aire. La velocidad varía entre 1.400 y 1.600 m/seg. en función de la temperatura, la salinidad y la presión o profundidad.

La velocidad aumenta en 2,50 m/seg. por cada grado de aumento y 1,80 m/seg. cada 100 metros de profundidad, y 1,40 m/seg. por una parte/mil de aumento de salinidad. Sin embargo, debido a la refracción que experimenta el sonido por las variaciones de densidad del medio a través del cual se propaga, se produce en las profundidades una zona de silencio. Esto hace decir a los marinos que existen “zonas sin fondo”.

D.- Temperatura

El agua de mar irradia menos temperatura que otras sustancias, debido a que ocupa la mayor parte del calor absorbido en cambiar su estructura interna. Esta especial característica, junto a la gran cantidad de agua salada que existe en el planeta, la convierten en el principal factor de regulación de la temperatura sobre la Tierra y por lo tanto del clima.

E.- Punto de congelación

El punto de congelación del agua de mar corresponde a la temperatura en la cual comienzan a formarse cristales de hielo o sea a cero grado, y varía según la salinidad. Lo más curioso es que la formación de hielos da origen a cristales de agua casi dulces, no salinos, por la eliminación de las sales disueltas durante el proceso de cristalización. Debido a esto, en los polos, la concentración de sales en el agua de mar es mayor que en otras latitudes.

16.- Circulación de los Océanos, las corrientes.

Al igual que la atmósfera, el agua de los océanos está permanentemente en movimiento. El Sol provoca por radiación, calentamientos diferentes en distintas zonas de la Tierra, lo que provoca vientos que son a la postre los causantes directos del movimiento del agua del mar en forma de corrientes.

Las corrientes oceánicas son el movimiento horizontal de grandes masas de agua como un flujo continuo a lo largo de una trayectoria definida.

Las corrientes existentes en los océanos son originadas principalmente por **el viento y las fuerzas productoras de mareas** y las diferencias de presión. Al igual que la atmósfera estos flujos ven modificada su trayectoria por el efecto de Coriolis.

En la zona central y norte de Chile, se distingue la presencia de dos corrientes que fluyen de Sur a Norte y que corresponden a la corriente fría de Humbolt, y dos corrientes que fluyen desde el Norte hacia el Sur y que corresponden a las contracorrientes del Perú, una de ellas se desplaza en la profundidad. Las de Humbolt lo hacen superficialmente por dos ramas, una costera y otra oceánica, y entre ellas fluye la contracorriente del Perú.

Quien ha navegado mar adentro puede distinguirlas por la diferencia de color y temperatura. Saliendo de la costa el agua tiene la influencia de las algas y microorganismos en un par de millas de ancho. Después de esa franja aparece otra franja de agua de color azul oscura. Le sigue una franja celeste más cálida y transparente en donde están los peces voladores.

Después aparece la mar color azul cielo y profundo. Es el azul marino.

Las corrientes de agua siguen las leyes de los fluidos, es decir que cuando se encuentran con angosturas y bajos fondos, se produce un freno en los obstáculos y en el medio del canal formado por los costados, su velocidad se acelera notoriamente.

En los canales la máxima aceleración se produce en el centro del canal, y durante la vaciante en el interior de las bahías la corriente generalmente se produce cerca de la costa debido a los efectos de circulación y oleaje. En este caso la corriente se puede distinguir por el color que es más claro que el resto del agua producto de la mayor agitación y acarreo de material fino, y porque la ola adquiere en la zona de corriente una característica distinta al régimen general de la ola.

La navegación en el Canal de la Mancha entre Inglaterra y Normandía, es sumamente complicada por efecto de las corrientes que generan las mareas, por lo que se editan cartas náuticas que indican las velocidades y rumbos según el día y la hora. En nuestros canales australes, la tarea de conocer las corrientes bajos y accidentes es de los pocos peritos en el tema y a ellos les corresponde guiar a las naves mayores.

17.- La ola de mar

La ola de mar, como las que vemos cuando navegamos en el océano, es la manifestación superficial de una serie de perturbaciones causadas por los vientos, los terremotos, las erupciones volcánicas y enormes deslizamientos o derrumbes de fondos marinos. No incluyo a los aerolitos gigantes.

La formación de olas se debe a la transferencia de energía del viento a la superficie del agua, por rozamiento, pero la forma por la cual esto se logra, no se ha podido determinar cuantitativamente. Sin embargo se sabe como se generan y que las características físicas dependen de:

- 1.- La velocidad del viento,**
- 2.- El tiempo que este viento permanece soplando y**
- 3.- El espacio o superficie efectiva en donde el viento actúa (fetch) y**
- 4.- De la profundidad de la masa de agua.**

Las olas cuando dejan la zona en que se formaron, mantienen la velocidad en las aguas profundas, pero en su andar comienzan a perder las irregularidades, y gradualmente altura.

Esto se debe básicamente a la acción de vientos que soplan en distinta dirección al rumbo que llevan, a la interferencia de las corrientes, a la distinta velocidad de las olas más grandes respecto a las olas de menor dimensión, y la dispersión sobre la superficie del mar.

Las olas más grandes, cuando se acercan a la costa, mantienen formas más suaves que es la forma que más conocemos, pero donde nacen o en las zonas vecinas, no tienen formas lógicas y todo es un gran desorden. En tanto que las olas pequeñas que eran parte del sistema generado, desaparecen por efecto de la viscosidad, o absorbidas por las más grandes y veloces.

El paso de la ola a través del agua induce a las partículas a moverse de manera oscilatoria, formando una trayectoria circular cuando se encuentra en grandes profundidades y en forma elíptica cuando se acerca a la costa. Este movimiento oscilatorio, en baja profundidad, es el más importante factor de acarreo de partículas sólidas del fondo marino que forman las playas. El diámetro mayor de las formas elípticas de la oscilación de las partículas de agua es igual a la altura de la ola.

La profundidad es un factor importante en la formación y en el comportamiento de las olas. La

relación entre profundidad (p) y largo de onda (L), se expresa como p/L . En aguas poco profundas, o cuando la profundidad es igual o menor que veinte veces el largo de onda, el movimiento elíptico de la superficie, prácticamente desaparece al tomar contacto con el fondo y se convierte en sólo vaivén.

La energía total que cada ola trae está dada por la energía potencial y por la energía cinética. La energía potencial se manifiesta por la formación de las ondulaciones fluctuantes y repetitivas que deforma la superficie plana del mar. La energía cinética se debe a la velocidad adquirida por las partículas del agua. Energía potencial y cinética aportan en partes iguales a la energía total de una ola.

Al acercarse a la costa, la profundidad cambia y por lo tanto las condiciones en donde se transmite la energía. La ondulación empieza a cambiar de longitud, de amplitud y de velocidad. **La única característica que no cambia con la baja profundidad es el período de la ola. La velocidad y longitud de onda disminuye y la altura aumenta.**

Es importante hacer notar que la velocidad de desplazamiento de la ondulación es diferente de la velocidad de movimiento de las partículas de agua. **La ola revienta cuando la velocidad de circulación de las partículas es igual a la velocidad de propagación de la ola.** Teóricamente esto se logra cuando el ángulo de la cresta de la ola alcanza a los 120°

En nuestras costas podemos hacer una aproximación de acuerdo al largo de onda característico, y decir que estas amenazan con reventar cuando se aproximan a los diez metros de profundidad, para reventar definitivamente cuando la altura de la ola es mayor que la profundidad. Cuando la altura de la ola es mayor, el proceso de reventar se produce a mayor profundidad. En una playa podemos decir que revientan más lejos de la costa.

Muchos científicos se han preocupado del tema, como Stokes, Airy (1842), Gerstner (1802), Levy-Civita(1925) y recientemente Kulegan y Patterson (teoría sobre las olas solitarias)

Se ha podido determinar (Stokes) que en aguas profundas la ola puede reventar cuando H/T al cuadrado = **0.267** en que H es la altura de la ola en el punto de quiebre y T es el período.

De acuerdo a esto, si el período es de 6 segundos, para que reviente, la ola debe tener 9,61 metros de altura. Si es menor, entonces continúa su amenazante recorrido sin reventar.

Las olas solitarias como los tsunamis, revientan al acercarse a bajas profundidades, cuando H/p = **0.78**, o sea cuando la altura es **0,78** veces la profundidad. Muchas olas que no son solitarias, revientan de acuerdo a las características de olas solitarias.

Basado en esto podemos deducir que una ola de 1 metro de altura revienta cuando está en una profundidad de 0,78 m.

Estudios posteriores llevados a cabo por Reid-Bretschneider entregan cifras para olas que atacan la costa en forma inclinada, que son más rápidas y provocan verdaderos canales en las playas. Bajo esa condición, se da como ejemplo una ola que tiene un período de 10 segundos revienta a una profundidad de 4 metros cuando logra una altura de 2,40 metros.

Como es de suponer, las olas dispersas, desordenadas que se forman por grandes tempestades no pueden ser analizadas ni medidas, sólo descritas por los que han tenido que soportarlas o presenciar desde el aire.

Las olas suaves y regulares se producen con buen tiempo provocan mares tendidos, compuestos por trenes de ondas de diferentes longitudes y amplitudes. Este fenómeno de ondas regular y variable es susceptible de ser cuantificado, es decir es posible medir el largo de onda, la altura, amplitud y la velocidad. Este movimiento ondulatorio que se propaga a grandes distancias de donde se originan, viaja a una velocidad entre 12 y 24 nudos.

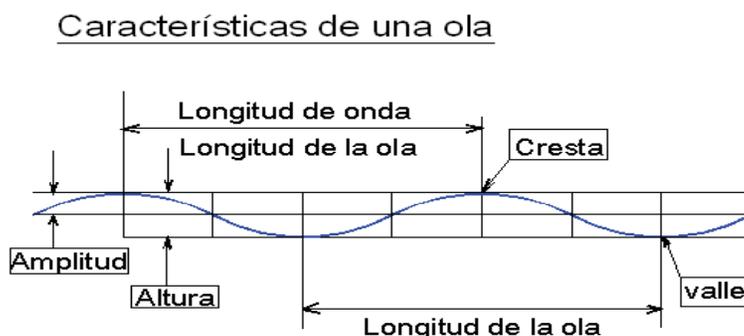
Características de una ondulación o de una ola regular:

La altura de la ola es la diferencia entre la cresta y el fondo de la depresión.

El largo de onda es la distancia de cresta a cresta.

El período es la cantidad de ondulaciones regulares en un lapso de tiempo.

La amplitud es la máxima deformación desde la línea media.



En términos generales en un punto cualquiera del mar debemos distinguir **dos tipos de olas: la oceánica y la ola de viento**. La segunda es la que se forma espontáneamente cuando sopla un viento que entra a modificar el régimen de ola oceánica, que es la que se formó a miles de millas. Cuando el viento sopla en contra tiende a aplanar el mar, y cuando es a favor provoca una especie de ola sobre ola, como si las grandes olas tuvieran doble piso, y si aumenta el viento se inicia la aparición de “corderitos” que es el rompimiento de las olas de viento.

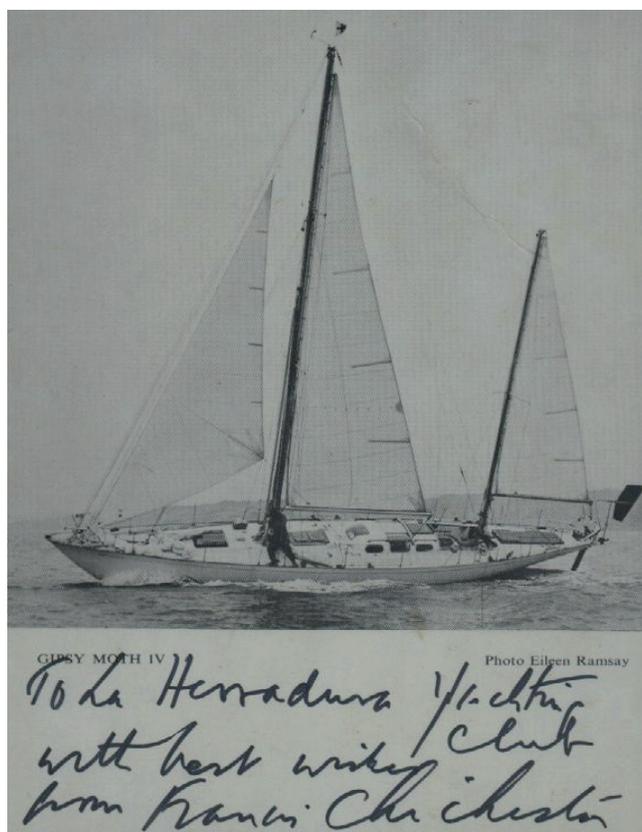
El origen de las olas oceánicas para referirnos al hemisferio Sur, se producen en mayor número, en la latitud de los tres Cabos australes o sea en las latitudes entre los 45 y 55° Sur. Es una enorme zona sin interferencias en que el viento puede desarrollar toda su fuerza.

Entre el Cabo de Hornos y el Cabo de Buena Esperanza, o el Cabo de Las Agujas en Sud África, en la latitud cercana a los 45° Sur, de 30 días del mes, 24 son de temporales. En esa misma latitud, entre Sud Africa y Australia se encuentran los famosos 40 bramadores que aportan normalmente vientos de 70 nudos, madre de olas normales entre 7 y 10 metros, y no menores a las olas que se originan en el Océano Pacífico entre Australia y el Cabo de Hornos.

Estas olas han sido descritas por navegantes solitarios que han dado la vuelta al mundo, como Vito Dumas, Sir Francis Chichester, Philippe Monnet, el barón Kersauson, Philippe Jeantot, y muchos otros.

Vito Dumas, de origen argentino fue el primero en lograr dar la vuelta al mundo en solitario en el año 1942 y 1943 cruzando el Cabo de Hornos en su velero de 9 metros y dos palos, el Legh II. Hasta el año 1966 sólo se sabía de 8 yates que se habían atrevido a cruzar el Cabo de Hornos, de ellos seis habían naufragado en el intento. Pudo cumplir esta hazaña recorriendo 22.000 millas, en casi un año de navegación, sin timón automático, sin navegador por satélite, sin instrumentos electrónicos ni generadores, ni bombas de achique.

Sir Francis Chichester, a la edad de 64 años, en su velero de dos palos el Gipsy Moth IV, de 16,5 metros de eslora logró dar la vuelta al mundo pasando por el Cabo de Buena Esperanza, Australia, y Cabo de Horno después de navegar casi 30.000 millas en 226 días. Al igual que todos los navegantes que se han atrevido, sufrió mucho por las enormes olas producidas por vientos siempre superiores a 50 nudos, que volcaron su embarcación en un par de oportunidades.



El Gipsy Moth IV era un casco de acero de poca manga con relación a su eslora y contaba con mástiles muy altos, tal como podemos apreciarlo en la foto que obsequió a nuestro Club de Yates. Tales características lo hacían vulnerable a la escora. Los grandes temporales con los que se topó apenas llegó a las latitudes Sur los corrió a palo seco y a veces con un pequeño tormentín. Aun así volcó en un par de oportunidades. En su paso por Australia detectó que la quilla estaba más adelante que lo que correspondía, detalle que convertía a Gipsy Moth IV en un barco muy ardiente que se atravesaba cada vez que una ola levantaba su popa. Gracias al peso de su quillote, en medio del embravecido mar, logró volver a su posición normal.

Los capitanes que han cruzado el Cabo de Hornos se han hecho merecedores del título de “Caphorniers”, título comparable al de los montañistas que logran la cima del Everest.

El Cabo de Hornos es el extremo austral de la Isla Hornos, la que pertenece al grupo de las islas Hermite que, junto a las Wollaston, forman un archipiélago que como parte del territorio de la República de Chile limita por el norte el paso Drake, que separa a América de la Antártida.

El Cabo de Hornos, un promontorio casi vertical de 425 metros de altura. Se supone que fue descubierto el 30 de enero de 1616 por la expedición comercial holandesa organizada por Isaac Le Maire, bajo el mando del Capitán Willem Schouten. El cabo debe su nombre al Puerto de Hoorn, desde donde había zarpado la expedición el 14 de junio de 1615.



Entre todos los accidentes geográficos notables de las costas de los cinco continentes, no existe para el navegante ninguno más temible e impresionante que el Cabo de Hornos. Los vientos huracanados y las fuertes corrientes producen allí olas de tal tamaño que cualquiera nave, por recia que sea su construcción y arboladura, adquiere las proporciones de una cáscara de nuez en una tormenta, dificultando la navegación hasta el punto de transformarla con frecuencia en una pesadilla.

Bitácoras de antiguos navegantes genoveses y españoles como don Hernando de Magallanes en 1520 y don Pedro Sarmiento de Gamboa en 1584, así como las posteriores expediciones ordenadas por el almirantazgo británico, realizadas durante los años 1826 al 1828 con los navíos Adventure y la Beagle para reconocer y levantar planos de la costa sur de Chile, hablan de olas de tamaño medio de 9 metros y las mayores del orden de 36 metros. A veces el susto hace aumentar la dimensión del adversario, pero en este caso, dada la seriedad de los interlocutores y en esa época puede haber sucedido tal como lo cuentan.

El Estrecho de Le Maire cerca del Cabo de Hornos es famoso entre otros por las olas que levantan los temporales. E. Lukas Bridges autor del libro “El último confín de la Tierra” nos cuenta que con sus padres, los primeros colonizadores que sobrevivieron al clima y a los belicosos pueblos autóctonos de la zona, les tocó pasarlo en agosto de 1871 en el **Allen Gardiner** un velero de 88 toneladas.

En su bitácora podemos leer: “El navío había ganado dos veces el Estrecho de Le Maire y otras tantas habían sido rechazados por el temporal. Es difícil describir las olas convertidas en montañas de agua, que se hacen aun más empinadas en aquellos estrechos por sus mareas rompientes de triste fama”.

El Estrecho de Le Maire está ubicado en el extremo Sur de nuestro continente a 54 millas al Nor-veste del Cabo de Hornos, y es la angostura de un embudo en donde arremeten las enormes olas impulsadas por el viento Weste después de pasar por el archipiélago que conforma el Cabo de Hornos, cementerio de muchos barcos que han tenido la osadía de enfrentarlo con mal tiempo.



Estrecho Le Maire

El 17 de Marzo de 1741, el diario de Georges Anson, comandante de la escuadra de Su Majestad Británica, que hizo una expedición a los mares del Sur en un barco de mil toneladas, cuenta que... “la fuerza de la tempestad que los sorprendió en la mitad del estrecho de Le Maire dejó asombrados a los más antiguos y veteranos marineros de a bordo, y los obligó a confesar que lo que hasta entonces habían llamado tempestades eran simples ventarrones sin importancia comparados con la violencia de estos vientos que levantaban un oleaje tan corto y a la vez tan formidables que resultaba más peligroso que el de todos los mares recorridos en otras partes del globo. “El espectáculo nos llenaba de horror, pues bastaba que una de esas olas hubiese reventado sobre nosotros para que hubiéramos ido, con toda probabilidad, a parar al fondo del mar”...

En zonas cercanas a la costa del océano Atlántico e Índico, las olas son de longitud de onda inferior a las del océano Pacífico. Esto tiene relación directa con la profundidad en donde se producen o forman.

En condiciones normales de buen tiempo, en nuestro litoral las olas llegan en series de cinco siendo las tres primeras y la última más grandes que la cuarta. Luego de esto, viene un período de calma en que las olas comienzan lentamente a crecer hasta que nuevamente llega la serie de cinco olas.

Esperar la calma es una observación propia de los pescadores artesanales para poder sacar o echar los botes en la playa. El detalle del régimen de las olas lo aprendí en los años en que me dediqué a la pesca de playa en el litoral de la región de Atacama, que fue quizás el más generoso que he conocido en lenguados y corvinas.

El conocimiento de este fenómeno, el cual que no he podido averiguar su causa, por ser además desconocido por los distinguidos investigadores del mar a quienes consulté, salvó mi vida y la de mi compañera durante un paseo a la costa con compañeros de Pontificia Universidad Católica de Santiago. Mientras permanecía en una roca grande y lisa con forma de huevo en Punta de Tralca contemplando las enormes olas que reventaban en unas salientes más afuera, de repente y sin aviso, apareció después de una precaria calma, una ola que por su tamaño, sin duda nos iba a arrastrar al fondo del acantilado (en donde lamentablemente han muerto ya decenas de personas hasta la fecha en que escribo estos recuerdos) No intenté arrancar como el instinto me lo ordenaba, lo que habría sido fatal, sino que me aferré

con todo, inmovilizando a mi asustada compañera, a las pocas grietas de la superficie de la roca. Llegó la primera, la segunda ola, y así agarrado se cumplió el ciclo que describo, hasta que pasó la quinta ola, después de la cual pudimos salir mojados, muy asustados, pero con vida. Nuestros compañeros que miraban aterrorizados, una vez que pasó el susto, nos bautizaron por segunda vez.

Cuando el mar crece, entonces esta serie de cinco olas también crece hasta 6, 7 o 10 olas, hasta que cuando el mar está definitivamente malo, desaparece por completo el período de calma.

En aquel célebre libro, Papillón logra escapar de su cautiverio en una inhóspita isla, precisamente por la observación de este comportamiento o ciclos de olas.

Es útil saber que estos ciclos de olas contemplan momentos de calma cuando se navega con grandes olas o muy rápidas, para efectuar virajes con más seguridad en ese período, o para planearlas cuando se navega a un largo.

Las olas oceánicas que vienen viajando del oeste y desde muy lejos, a menudo se ven enfrentadas a ondulaciones provocadas por los fuertes vientos del Norte, que suelen aparecer por nuestro litoral. Entonces, las olas regulares se transforman en verdaderas puntas como volcanes que despiden agua por la parte más alta, acompañadas por profundas depresiones, verdaderos hoyos en el mar en donde no dan ganas de caer. Son los temporales del Norte, o sea la peor condición para navegar, y un eterno desafío para los que deben trabajar en rescates marítimos, como los valientes del “bote salvavidas” de Valparaíso, Coquimbo y otros lugares.

En la zona de Coquimbo, el viento predominante es el Norte, por lo que se podría afirmar que el áspero mar que enfrentamos en esta zona, llamado también “Las Alturas de Coquimbo” se debe al encuentro de las olas oceánicas que viajan desde el Sur Oeste con la formada por los vientos predominantes del Norte.

Las olas recorren grandes distancias y van más rápido que el fenómeno que las produjo. Una explicación muy simple puede darse al respecto. Cuando se lanza una piedra a un estanque de aguas quietas, se producen ondulaciones concéntricas que se desplazan, mientras que el origen de las ondulaciones permanece en el mismo lugar en que cayó. Cuando se produce un temporal de viento en un lugar del mar, la explicación de la piedra es valedera. Si estamos navegando bajo determinadas condiciones de mar y repentinamente aparecen olas diferentes o mayores, es muy posible que dentro de poco tiempo nos alcance el fenómeno que las provocó, pudiendo ser esto un gran aumento de viento.

Las mayores olas registradas en la historia se deben a deslizamientos de tierra submarina o a grandes terremotos. Se llaman Tsunamis, palabra japonesa que significa “**ola marina sísmica**”. Estas ondulaciones traidoras viajan por el fondo del mar a velocidades entre 700 y 800 kilómetros por hora para emerger y perder velocidad al enfrentar menos profundidad, dando paso a verdaderas murallas de agua que pueden alcanzar 30 metros de altura. Un tsunami no se detecta en aguas profundas.

En Chile aparecieron el 20 de febrero del año 1835 con olas de 15 metros, el 13 de agosto de 1868 con 18 metros, el 10 de mayo de 1877 con 21 metros y finalmente el 22 de mayo del año 1960 con 30 metros en la zona de Corral. Un barco Norteamericano que sobrevivió al choque de estas olas, cinco en total según el testigo, dice que el barco estuvo largo rato bajo el agua. Otro que no tuvo igual suerte fue arrastrado por 10 kilómetros río adentro y después de 49 años aun pueden apreciarse sus restos.

Muchos pueblos costeros como Corral y toda la costa de esa zona desaparecieron por completo. Otros ubicados en el borde de ríos, como Puerto Saavedra ubicado en la desembocadura del río Cautín corrieron igual suerte.

Las olas que tienen el record son las de Indonesia el año 1964 y las del Golfo de Alaska 1994, con 60 y 70 metros de altura, y lamentablemente con miles de víctimas.

El maremoto del año 2.005 en la costa de Indonesia no tuvo gigantescas olas, sino olas grandes acompañadas de una enorme marea que invadió kilómetros de territorio poblado matando principalmente a los menores.

18.- Las mareas

Plinio, un romano que nació el año 23 y murió con la erupción volcánica que destruyó Pompeya, escribió en el único libro que se salvó, Historia Naturalis, lo siguiente: “mucho se ha dicho sobre la naturaleza de las aguas, pero la circunstancia más extraordinaria es el flujo y reflujo alternado de las mareas, que existe ciertamente bajo diversas formas pero es causado por el Sol y la Luna”.

El fenómeno de las mareas era conocido entonces por los antiguos habitantes del mar Mediterráneo, en donde las mareas son apenas perceptibles, y dudaron que en otros mares las mareas fueran enormes. Este “pequeño detalle” significó para César la pérdida de casi la totalidad de los barcos, que se emplearon para la invasión de Britania, o sea fuera de los límites del mar Mediterráneo. César y sus oficiales ignoraban la relación entre la Luna y las mareas.

El conocimiento del fenómeno de las mareas en los sectores en que navegamos tiene que ver con la seguridad, porque podemos quedarnos sin fondo, como suele ocurrir en el sur de Chile, y porque provoca corrientes no permanentes en zonas en que se desarrolla una regata. Por tanto en el lado escogido para una regata puede beneficiarnos y en otra hora en el mismo recorrido podemos encontrarnos con corrientes adversas. Las mareas además provocan importantes cambios en el régimen de olas.

La teoría de las mareas es bastante más extensa y compleja que lo que acá citaremos. De hecho existen mareas de agua provocadas por el viento, mareas de masas de aire, y aunque no lo crean existen mareas de tierra. Efectivamente por atracción entre el Sol y la Tierra por una parte y con la Luna por otra, nuestro globo terráqueo se deforma, lo que es imperceptible para nosotros.

Las mareas que veremos acá, se originan por la fuerza de atracción que ejercen sobre nuestro planeta el Sol y La Luna, provocando un movimiento de la masa de agua afectada. Aunque el Sol es 177 veces más grande que la Luna su influencia es menor a raíz de su mayor distancia.

La masa del Sol es 27.000.000 la masa de la Luna, pero su distancia a la Tierra es 390 veces superior a la distancia entre la Luna y la Tierra. Esto hace que las fuerzas gravitatorias generadoras de las mareas ejercidas por la Luna sean casi el doble de las del Sol (la relación es 59 a 27).

El día lunar tiene 24 horas y 50,47 minutos, y en ese período se producen dos mareas. Por lo tanto cada marea alta se produce después de 12 horas y 25 minutos de la precedente como “promedio”, ya que debido a la forma elíptica de la órbita de la Luna y a la inclinación respecta a la de la Tierra, entre otras cosas, se producen variaciones en las mareas entre 38 y 66 minutos.

Algunas definiciones relacionadas con el tema:

La bajamar y la pleamar corresponden a los niveles de mar mínimos y máximos alcanzados por la marea.

Se llama **estoa** al punto en que las mareas cambian de signo. Durante la estoa, los canales del Sur de Chile no tienen corriente o flujo.

El tiempo transcurrido entre dos pleamares o dos bajamares sucesivas corresponde al **período de la marea**.

Llenante es el tiempo que transcurre entre una bajamar y una pleamar sucesivas.

Vaciante es el tiempo que transcurre entre una pleamar y una bajamar sucesivas.

La diferencia de altura del nivel del mar entre una pleamar y una bajamar sucesiva se llama **rango de marea** (amplitud), mientras que la diferencia entre dos pleamares o bajamares sucesivas se llama **desigualdad diurna**.

Marea diurna: se caracteriza por la ocurrencia de una pleamar y una bajamar en un día lunar.

Marea semidiurna: presenta dos pleamares y dos bajamares de la misma altura durante un día lunar. En este caso el período es de 12 horas y 25 minutos.

Marea mixta: es la presencia de dos pleamares y dos bajamares de distinto nivel durante un día lunar. Es la más común.

Si el Sol y la Tierra y la Luna están alineados en ese mismo orden, se producen las más altas mareas y se llaman **mareas vivas**.

Si el Sol la Tierra y la Luna forman un ángulo recto, las mareas son menores y se llaman **mareas muertas**.

En la zona central del país las mareas raramente sobrepasan el metro y medio, sin embargo en la zona sur, a la altura de Puerto Montt y más al sur, las mareas tienen diferencias hasta seis metros entre la bajamar y la pleamar. Eso convierte a esas zonas en diques secos naturales, que permiten a una embarcación quedar en seco para cualquier reparación de la carena.

En los canales que conectan grandes masas de agua como el canal del Chacao, las mareas provocan flujos o corrientes de promedio 6 nudos en el centro del canal. Al llegar al mar, provocan las llamadas barras; la barra de Ancud, o barrera de terribles turbulencias resultado del choque de las olas oceánicas del weste con la corriente que viene del interior. El resultado es la formación de olas que revientan en distintas direcciones y que son infranqueables para embarcaciones pequeñas, y muy dificultoso para las mayores.

Interesante y doloroso es el relato que el hijo de mi amigo Alejandro Feuereisen, que lamentablemente ya no está con nosotros, en donde nos da cuenta de su terrible experiencia al pasar con su hermano y su padre en yate Carinita II por la barra de Ancud en la vaciante. Por equivocarse en una “mísera” hora en el cálculo de la estoa, según cuentan, fueron revolcados sin piedad por las olas de seis metros que llegaron reventando por cualquier lado, menos por el lugar esperado.

Las mayores mareas conocidas que producen diferencias de altura de 18 metros se han detectado en la península de Brunswick en el Este de Canadá, y que obedecen además a condiciones topográficas propicias para lograr tamaña diferencia.

Cuarta Parte

19.- Acción del agua sobre un velero

En la parte correspondiente al análisis de la acción del viento sobre la obra muerta de un velero, definimos varios conceptos físicos relacionados con los fluidos.

Al revés de lo que hicimos para el viento que nos impulsa, en este analizaremos el freno que el agua nos provoca para desplazarnos. Conociendo las causas que nos frenan actuaremos en consecuencia para minimizar dentro de lo posible sus efectos. Tal como dijo Max, un sabio y gran amigo, que ya no nos acompaña, **“en el momento en que logramos entender las causas que originan el problema, estamos en la mitad de su solución”**.

Muchos diseñadores de barcos, que no siempre son expertos en dinámica de fluidos, se han ocupado en desarrollar cascos de distintas formas pensando más en los volúmenes de bodega de carga, capacidad, zonas de trabajo, estética, más que en formas cuya geometría reduzca la resistencia del agua sobre la parte sumergida del casco. La técnica que se preocupa de evitar arrastre, disminuir cabeceo, estabilidad, etcétera, la han llamado **diseño hidrodinámico**.

Hoy con el elevado precio del petróleo, que para un pesquero de alta mar significa casi el 50% del costo de operación, la tendencia es investigar la forma de ahorrar combustible. Uno de los aspectos es la forma, el peso de la hélice, el tipo de turbulencia asociada al casco, superficie mojada, etcétera.

El óptimo diseño de un casco de regata de grandes dimensiones se complica, aparte de las reglamentaciones, por las diferentes situaciones del medio en las que debe funcionar, y al desconocimiento de algunos fenómenos relacionados con la mecánica de los fluidos aun en investigación, como el desplazamiento en medios turbulentos.

Un casco que se diseña cuidadosamente para que desarrolle la máxima velocidad bajo determinadas condiciones, altura y período de olas, puede convertirse en un casco ineficiente para otras condiciones.

Cuando navegamos en un yate tradicional en el mar, mantenemos una velocidad que es función del viento que nos impulsa y del agua que nos frena. Esta velocidad permanece constante cuando el mar está tranquilo y plano y el viento estable. Cambia sólo si se modifican las variables.

Veremos en este capítulo el concepto de velocidad constante y más adelante un detalle o análisis de cada fuerza que se suma al arrastre general, entre ellas, el efecto de la ola, que en una ceñida perfectamente puede frenarnos unas 500 veces por hora, el freno por la proyección del casco en el agua en el sentido del movimiento, del roce del agua, de la formación de olas parásitas y de otros factores no menos importantes que dificultan el desplazamiento sobre o en el agua.

Has tratado alguna vez de correr con el agua hasta la cintura?

20.- Desplazamiento a velocidad constante

Al inicio del tema de los fluidos expresé que sólo las fuerzas constantes son capaces de provocar desplazamientos permanentes de un objeto, en un medio real como en el aire o en el agua, o sea donde existe viscosidad.

“La velocidad constante se logra cuando la fuerza impulsora se iguala a las fuerzas de oposición al movimiento”.

Si la fuerza impulsora disminuye, el objeto presenta una aceleración negativa y si es mayor, aumentará la velocidad, y en ambos casos se llegará a otra velocidad constante cuando las fuerzas se igualen.

Un automóvil que baja una larga pendiente con el motor apagado adquiere una velocidad constante sólo cuando la oposición del viento y del roce de todo su sistema interno iguala a la componente de la fuerza de gravedad que lo hace descender. Si la pendiente es poca o el viento en contra es mucho, el automóvil no descenderá.

Un avión que ha perdido sus motores, o un planeador o alas delta, puede seguir desplazándose a una velocidad constante porque negocian el alzamiento, a una determinada velocidad, con la fuerza de gravedad que actúa sobre toda su masa. Si desean volar a mayor distancia deberán eliminar carga.

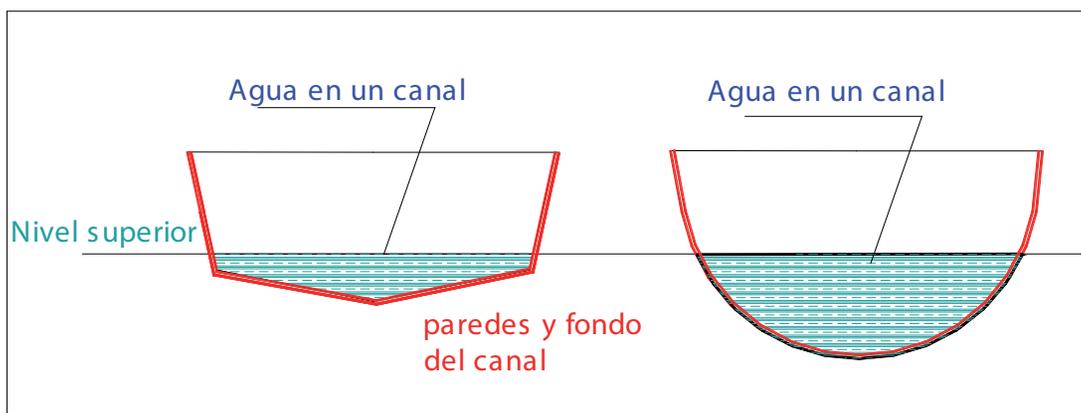
En un canal de regadío el agua se desplaza a una velocidad constante, porque el canal tiene una pendiente que ha sido cuidadosamente calculada.

Los ingenieros hidráulicos han trabajado por muchos años diseñando canales abiertos, determinando las formas más adecuadas y las que producen menos roce. La pérdida de velocidad por roce y por otros accidentes, la llaman “**pérdida de carga**”

Un importante concepto que manejan los ingenieros hidráulicos, es que para canales de flujo constante o de régimen uniforme, **la pérdida de carga equivale a la pendiente hidráulica del canal.**

Si se conoce la pendiente o el grado de inclinación de un canal, en que el agua se desplaza a una velocidad constante, podemos saber cual es la fuerza necesaria para moverse y por lo tanto las fuerzas iguales y opuestas al desplazamiento.

Cualquiera sea la sección del canal, el freno que provocan sus costados al desplazamiento del agua en la parte mojada será muy similar a la que experimenta un casco que se desplaza en el agua de esa misma forma “por fuera del canal”. Por lo tanto no es casualidad que haya escogido estas formas de canal de regadío par obtener alguna conclusión relacionada con la navegación.



En líneas muy gruesas, existe una relación entre el freno al desplazamiento del agua que se desliza por sobre una superficie sólida, y el freno que tiene nuestro sólido casco cuando se desplaza sobre el agua.

Para efectos de cálculos hidráulicos (en la navegación y en la aeronavegación) da lo mismo que sea el flujo que se desplaza a través de un cuerpo sumergido en el flujo o que sea el objeto que se desplaza por el agua sin movimiento.

En el diseño hidrodinámico de los cascos se emplean fórmulas empíricas para determinar el freno del agua que nunca son exactos y sólo dan una buena aproximación para determinadas condiciones, por lo que si imaginamos que un canal tiene la forma o sección de un casco, como los del croquis, podemos obtener valores del freno del agua, pero con la ayuda de fórmulas descubiertas y probadas por los investigadores en hidráulica, porque con ellas el agua efectivamente logra el movimiento previamente calculado por ellos. Obviamente esto nos dará una idea aproximada, pero valiosa para saber qué orden de potencia debemos pedir a nuestras velas.

La fórmula que dan los textos de mecánica de fluidos para calcular el freno por roce para un cuerpo inmerso en un flujo es la siguiente:

$$\mathbf{F.Fricción = \frac{1}{2} \times C_f \times \text{densid. agua} \times \text{sup mojada} \times V. \text{ al cuadrado.} = \text{kilos}}$$

Fuerza de gravedad

Y para calcular el freno o arrastre por forma es otra parecida con otro coeficiente de acuerdo a la forma del objeto y según el flujo, o sea de acuerdo al número de Reynolds.

En ambos casos los resultados son aproximados porque los coeficientes no son exactos al ser el resultado de experiencias de laboratorio.

En cambio en la hidráulica existen muchas fórmulas para calcular la pendiente de muchas formas de canal, que es lo mismo que calcular la fuerza del freno al desplazamiento del agua en esa sección por metro de longitud.

Veremos la fórmula de **Chezy-Darcy**, que se emplea para formas circulares y que es una fórmula empírica, o sea resultado de la experiencia y por eso no pueden demostrarse.

$$\mathbf{Pérdida \ de \ carga = \frac{f \times L \times V^2}{4 \ r \times 2 \ g}}$$

f es un coeficiente que depende de la rugosidad de la pared del canal por donde se desliza el agua. Para la superficie perfecta, **f = 0,009 ó 0,01**

L es la longitud de la parte de canal que se analiza.

V es la velocidad que es al cuadrado.

g es la fuerza de gravedad.

r es el radio hidráulico. Es la relación entre la sección del canal y el perímetro. O sea: **r = área**

Perímetro mojado

Veamos lo que sucede con el canal de fondo circular del croquis si la velocidad **V** del agua de 5m/s, el diámetro (**D**) es de 3m y se encuentra hundido (**d**) hasta 0,30 metros.

Unas tablas nos ayudan a encontrar los valores del área sumergida **A**, del perímetro mojado **p** y del radio hidráulico **r**.

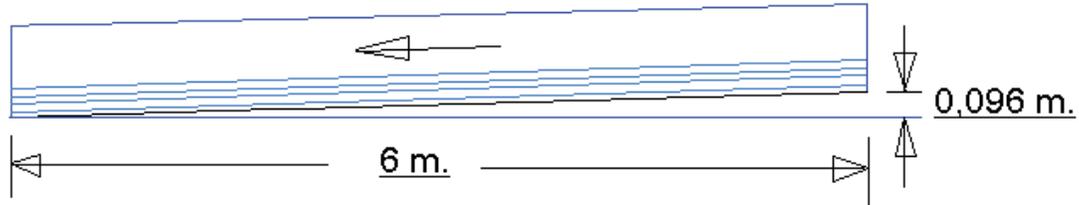
$$\mathbf{d/D = 0.30/3 = 0.1 \ \text{según las tablas} \ A = 0,525 \ m^2.}$$

$$\mathbf{p = 2,62 \ m}$$

$$\mathbf{r = 0,2}$$

Aplicando la fórmula de Chezy-Darcy tenemos,

$$\text{Pérdida de carga} = \frac{0,01 \times 6 \times 25}{4 \times 0,2 \times 2 \times 9,8} = 0,096 \text{ m.}$$



Esto significa que nuestro corto canal, en 6 metros desciende 9,6 cm.

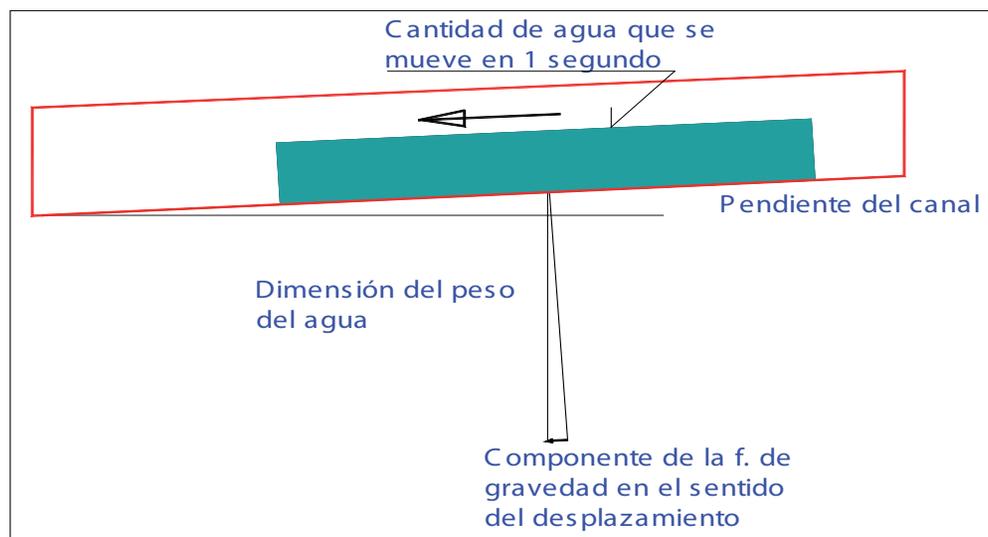
La pendiente de nuestro canal es de $0,096 \text{ m} / 6 \text{ m} = 0,016 \%$

El caudal es $Q = \text{área} \times \text{velocidad} = 0,525 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m/s} = 2,62 \text{ m}^3/\text{s}$ que es = 2.620 kilos por segundo

Por lo que la componente en el sentido del movimiento es de:

$$2.620 \text{ kilos} \times 0.016 = \underline{41,92 \text{ kilos}}$$

Podemos decir que la resistencia que el agua opone al desplazamiento, de un casco circular calculado de esta forma es de **41,92 kilos**.



En un canal el agua corre por la acción de la componente de la fuerza de gravedad en el sentido del desplazamiento

Cuando hablamos de botes, la fórmula de **Chezy-Darcy** la podemos escribir de otra forma más adecuada:

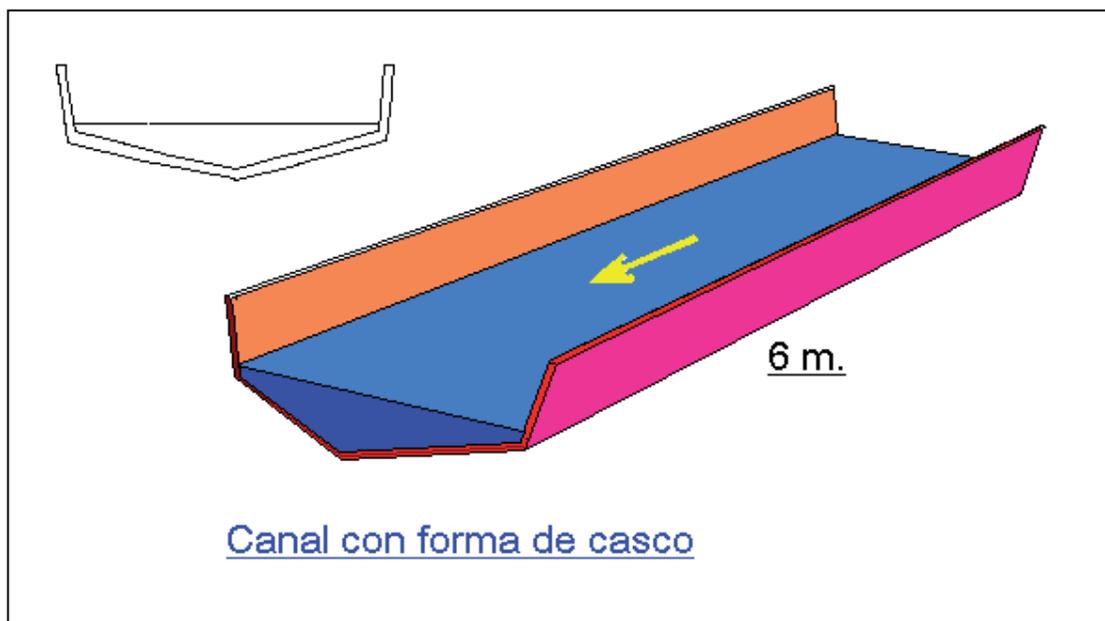
$$\text{Pérdida de carga} = \frac{f \times L \times V^2}{4 r \times 2 g}$$

Como $r = \text{área} / \text{Perímetro mojado}$

Si amplificamos por el perímetro mojado obtendremos lo siguiente:

$$\text{Pérdida de carga} = \frac{f \times \text{Superficie mojada} \times V^2}{8 \times \text{área proyectada} \times g}$$

Para calcular la resistencia que el agua opone al canal de lados rectos como el primero del croquis anterior, (como un Lightning o un Vaurian o un Pirata, pero al revés) se emplea la fórmula de **Manning**.



La fórmula de **Manning** establece lo siguiente:

$$\text{Velocidad} = \frac{1}{f} \times r^{2/3} \times s^{1/2}$$

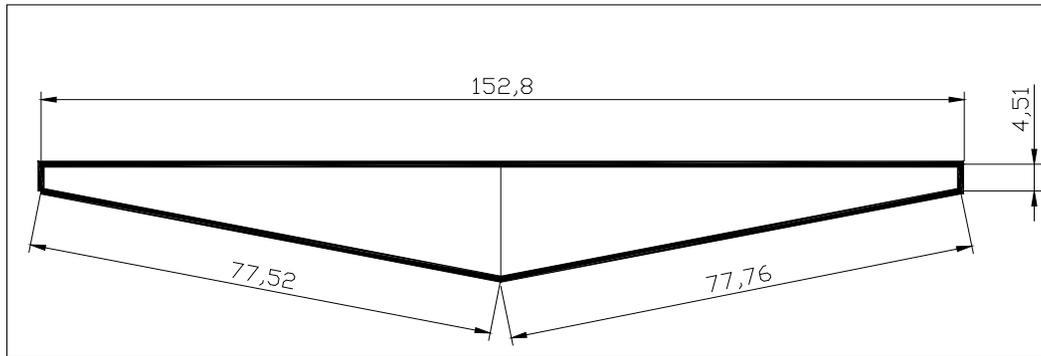
s es la pendiente del canal

f es el coeficiente de rugosidad

r es un radio hidráulico que se calcula por tablas

Los valores de f están tabulados y son de 0,009 para superficies lisas en buen estado a 0,011 para superficies terminadas con mortero de cemento. Es apenas una pequeña variación.

Veremos a continuación, un ejemplo para una sección parecida a nuestro Lightning, pero al revés (las medidas son aproximadas) que mostramos en el croquis siguiente:



Para velocidad de 5m/s, área = 0,1887 m², perímetro = 3,17 m. Luego, el radio hidráulico $r = 0,06$ y $f = 0,01$ Calcular la pendiente o pérdida de carga.

$$5 = \frac{0,06 \frac{2}{3} \times s^{1/2}}{0,01} = 0,153 \times s^{1/2} \quad \text{luego,}$$

$$s^{1/2} = \frac{5 \times 0,01}{0,153} = 0,327 \quad , \quad \text{entonces } s = 0,1068 \text{ m}$$

El caudal es $Q = \text{área} \times \text{velocidad} = 0,1887 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m/s} = 0,943 \text{ m}^3/\text{s}$ que es = **943 kilos**.

La pendiente de nuestro canal es de **0.1068 m/ 6m = 0,0178 %**

La componente en el sentido del movimiento es: **943kilos x 0,0178 = 16,78 kilos**.

La resistencia que las paredes del canal oponen al agua, o que el agua opone al desplazamiento de un casco de esa forma que se desplaza a 5 m/s, calculado de esta forma, es de **16,78 kilos**. Recuerde este valor para compararlo con otros sistemas de cálculo.

21.- Comentario.

Es entendible que este sistema de cálculo cree polémica por la forma poco convencional para dimensionar la resistencia que el agua opone a una embarcación en movimiento, porque frente a las aproximaciones que dan todos los sistemas de cálculo en los fluidos, el agua de un canal, calculada por los sistemas que emplean los ingenieros en hidráulica, siempre corre. Es algo tangible y real. Por esa causa estimé conveniente incorporarlo en estos apuntes porque nos da una idea de cuanta fuerza necesitamos para mover una embarcación.

Yo también pensé que era una falta de respeto comparar una embarcación con un canal de regadío, pero los calculistas dedicados a los canales puede que piensen exactamente lo mismo, pero al revés. Habiendo un virtual empate, los pongo a ustedes de jueces.

Como han podido ver, en los cálculos desarrollados he escogido la velocidad de 5 m/segundo porque es la velocidad a la que sometí a prueba un **Ligthing** con dos tripulantes a bordo remolcado en un mar plano por una lancha con motor con un dinamómetro. La carga para esa prueba **resultó del orden de 14 kilos.**

Claramente un canal no tiene la forma del casco de un **J24** o de un **Ligthing**, que tienen una menor superficie de contacto con el agua, por lo que se podría suponer que la resistencia que opone el agua al casco es menor que la que las paredes del canal oponen al paso del agua, aun cuando la sección del canal sea igual a la que tiene en la mayor manga del **J24 o del Ligthing**. Además la forma de la parte mojada del casco es hidrodinámica lo que representaría una menor resistencia por presión directa del agua.

Todo lo dicho parece estar en lo cierto, pero debemos decir a favor del canal, que una de las causas que frenan o aumentan la pérdida de carga, es precisamente el cambio de sección o cambio de dirección, que en el casco es permanente tanto horizontalmente como verticalmente. La forma hidrodinámica de un casco, a pesar del apellido, no asegura que sea la mejor forma para evitar el freno del agua. Una forma aerodinámica o hidrodinámica es eficiente para una determinada velocidad. Si la velocidad es superior a la óptima comienza a generar freno, por un efecto similar al que se explicará para la **sustentación en una vela**, a partir del máximo espesor.

Podemos agregar además a favor del canal, que no tiene que luchar para abrir el agua como la proa de la embarcación, o sea no tiene freno por forma. Tampoco tiene apéndices como la orza y timón.

Lo curioso es que los resultados finales sumando todos los factores que frenan a una embarcación, finalmente son muy parecidos a los que hemos obtenido a través del cálculo que las paredes y fondo del canal ponen al desplazamiento del agua.

Como siempre, queda materia de sobra para seguir escarbando e investigando.

Pero a un navegante ¿le importará saber cuanto lo frena el agua? Puede que no sea importante saber la cantidad exacta pero si es importante conocer los factores que participan en el freno que el agua pone al desplazamiento y eso si creo que a todos nos importa.

He dicho en estos apuntes que cuando navegamos y sobre todo en competencias o regatas, que tan importante como generar fuerza a través de las velas es mantener la preocupación por evitar antes y

durante la navegación arrastre o freno que el agua está siempre dispuesta a generarnos. Si eliminamos arrastre aumentaremos la velocidad.

Sabemos que en una regata los tripulantes tienen distintas responsabilidades. Un capitán, trimmer, encargado de mástil, otros del piano, otros de la táctica.

¿No será importante que un tripulante se encargue exclusivamente de los detalles que provocan freno? Creo que es básico e importante ir observando donde se estiban las velas, que en regatas no pueden ser utilizadas para evitar escora, donde se ubican los elementos, herramientas, cabos anclas que aportan peso, ubicación de la tripulación, movimientos en cubierta, zonas de menos oleaje, abatimiento excesivo que hace entrar en stall al quillote u orza y tantos otros detalles que provocan freno.

Una pequeña diferencia en el freno respecto a otra embarcación similar provoca una enorme diferencia en distancia recorrida. El que tiene opción a ganar regatas es aquel que se preocupa de ambas cosas, generación de fuerza y disminución del arrastre.

22.- Fuerzas que se oponen al movimiento de un barco:

22.1.- Resistencia por fricción,

22.2.- Resistencia por forma,

22.3.- Resistencia por formación de olas,

22.4.- Resistencia inducida,

22.5.- Resistencia por fuerzas inerciales o aceleraciones temporales, oleaje.

22.6.- Resistencia por Sustentación.

Antes de iniciar el tema, recordaré las palabras que Antoine de Saint-Exupéry nos entrega en su libro “El Principito”: **“ Mi secreto es muy simple: no se puede ver sino con el corazón. Lo esencial está oculto a los ojos.”**

En la navegación a vela, cuando todos los botes son iguales y el nivel de preparación de los tripulantes es bueno, la velocidad que adquiere una embarcación está en relación directa con el freno que el agua opone a su desplazamiento.

“Lo esencial está oculto a los ojos”, repitió El Principito. Efectivamente si la tripulación está sólo dedicada a obtener potencia de las velas, mirando la forma, y trimado, el acceso y salida del viento en las velas, las rachas y variaciones del viento, nunca logrará una mayor velocidad si no se preocupa de los elementos que frenan el desplazamiento. **El principal freno o arrastre no está a la vista.**

Si deseas ir más rápido, dedícate a observar lo que sucede en el agua y del contacto del casco (capa límite del casco) con el agua.

Para un velero que navega en ceñida, con un viento de 10 nudos, estas fuerzas opositoras al movimiento o arrastre, significan un valor superior al 70 % del total de la resistencia. En rumbos con vientos portantes este porcentaje se acerca al 100%.

El informe dado a conocer por un grupo de investigadores españoles encargados de diseñar un casco para la regata Copa América nos entrega las cifras de participación aproximadas de cada factor retardador del movimiento de este casco. Ellos dicen lo siguiente:

“De estas fuerzas retardadoras, navegando en ceñida a 5 nudos, con olas pequeñas, las más importantes son las originadas por la viscosidad del agua, llamadas también fuerzas parásitas, que son del orden del 70% del total. La formación de olas es de 18%, la inducida, por impacto de olas, inerciales y otros factores, componen el resto”.

Los porcentajes indicados son sólo válidos para ese casco. Para un casco más pequeño la importancia que adquiere la ola en el freno tiene un mayor porcentaje.

En términos generales y de acuerdo a los porcentajes indicados, podemos afirmar que mientras menor sea la superficie en contacto con el agua menor será el arrastre o freno, razón por la cual un casco liviano siempre será más rápido que uno pesado, bajo las mismas condiciones.

- Mientras mayor sea la eslora, menor será la resistencia por la formación de olas parásitas.
- Un casco de mayor tamaño es menos afectado por el tamaño de las olas que un bote pequeño navegando en un mismo escenario.-- - La resistencia con la velocidad aumenta al cuadrado.
- A menor velocidad, mayores son los coeficientes de arrastre.
- A mayor velocidad, menos arrastre por inducción.

Estos porcentajes varían según sea la forma del casco, la velocidad de desplazamiento, las condiciones de mar, estado de agitación de las aguas, la distribución de cargas o estiba, de la tripulación y en menor medida de la temperatura y características del agua. Cuando se alcanza la máxima velocidad, la resistencia por formación de olas parásitas se convierte en el principal factor de freno.

Bajo esta enorme cantidad de variables es difícil por no decir imposible llegar a un diseño que funcione en óptimas condiciones con un mínimo de resistencia al desplazamiento para todas las velocidades y condiciones de mar.

Si un equipo profesional de la vela sabe con anticipación la cancha en que deberá competir, puede preparar la embarcación para esas condiciones locales y seguramente, a ese nivel competitivo, tendrá a su favor aquella pequeña diferencia que separa al triunfador del derrotado.

En regatas importantes definen la zona de regata con años de anticipación precisamente para que los diseñadores de cascos, incluyendo todos los apéndices, y de velas puedan adecuar sus diseños a los requerimientos de esa cancha.

La respuesta de los diseñadores navales a esto, ha sido la enorme de variedad de embarcaciones que actualmente existen y que seguirán apareciendo a medida que se descubren nuevos materiales, nuevas técnicas de fabricación y acceso al conocimiento de la acción de los fluidos sobre los objetos que están inmersos en ellos.

22.1.- Resistencia por fricción

Recordemos que las fuerzas retardadoras por fricción o rozamiento se originan por la viscosidad del agua y se manifiesta en aquella delgada **capa límite** que se forma en la superficie del casco.

Efectivamente todos los objetos que toman contacto con un fluido son afectados por la adherencia entre el objeto y el fluido, formándose una delgada capa que en el caso del agua podemos visualizar cuando sacamos un objeto del agua. Esta capa límite cuando es de aire no podemos verla.

Esta capa laminar permanece inmóvil adherida a la superficie del casco. Esto produce que el

contacto de un barco en movimiento sea siempre agua-agua y no casco agua, produciéndose en la frontera o límite una separación molecular en el agua o efecto de corte. Mientras más viscosa es el agua, por ejemplo menor temperatura, más freno tendremos por este factor, para desplazarnos en el agua.

Esta **capa límite** está siempre presente en nuestro casco en la zona mojada como parte del casco y a medida que aumenta la velocidad, también aumenta de espesor “aguas abajo”. Ahora el casco “arrastra” un mayor peso y de acuerdo a las condiciones a las que exponemos al casco, será la magnitud de la acción retardadora o fuerza opuesta a nuestro movimiento. Estamos hablando de espesores de agua adherida del orden de 1 mm y 15 mm para capas turbulentas adheridas. Por tal motivo la comprensión de lo que ocurre en esta delgada capa es fundamental para entender las causas de la diferencia de velocidad de dos botes.

La relación del flujo de agua con la parte mojada del casco, está dada por el **número de Reynolds**, que tal como explicamos anteriormente es sólo un número sin dimensión pero relaciona velocidad, densidad, viscosidad y dimensión del casco. Este número nos indicará el tipo de capa límite que tendrá la superficie mojada de nuestro bote, a una determinada distancia de la proa, y cuando puede comenzar la separación o desprendimiento de esa capa.

22.1.1.-Efecto de separación

Es el menos deseado tanto en nuestras velas como en el casco. Consiste como su nombre lo indica en el desprendimiento de la capa límite y la inmediata formación de estelas o remolinos de agua con movimientos erráticos, que permanecen adheridos al casco como una cola o rabo que se prolonga más atrás que el espejo de popa.

La capa laminar es más delgada y produce menos resistencia al avance que la capa turbulenta, pero es más frágil a la **separación**. Este efecto se puede visualizar cuando golpeamos una pelota absolutamente lisa y liviana o un globo de cumpleaños: con el impacto adquiere inicialmente una gran velocidad y de repente se frena.

La capa límite turbulenta, al inicio suele tener alrededor de diez veces el espesor que la capa laminar, cuando esta recién se forma después de la transición, lo que provoca mayor resistencia o freno. Sin embargo tiene la ventaja de ser más estable que la laminar frente a la **separación**, por lo que es aconsejable para navegaciones con velocidades conocidas o comunes en embarcaciones que usan motor, crear la rugosidad adecuada a esa velocidad.

Mientras más tarde se separare la capa límite de nuestro casco, más tarde comenzará la estela o lo que es lo mismo el máximo de freno al avance por este concepto. También es importante la forma que nuestro bote debe tener en contacto con el agua. Esto ayuda a mantener la capa límite adherida. Esta debe ser de contornos suaves, es decir redondeada en la proa y con menor curvatura hacia la popa. Los bruscos cambios en la forma provocan turbulencias.

La separación de la capa límite se produce tempranamente cuando navegamos en aguas agitadas, en aguas con mayor temperatura o sea con menor viscosidad y menos densidad.

Estamos en condiciones de responder aquella consulta de mi amigo: Navegación en la noche, o con aguas más frías, “el bote se siente más rápido”

22.1.2.-Características de la capa límite en nuestro casco.

Dijimos que para definir un tipo de capa límite era necesario calcular el número de Reynolds (Re):

Si el Re está en el rango de 500.000 a 1.000.000 el flujo será laminar, y si es mayor la capa límite seguramente será turbulenta.

Pondremos como ejemplo el casco de un Lightning o similar, que navega en el mar a 1 nudo (0,52 m/seg.) con la temperatura del agua de 15°. (viscosidad del agua = $1,4 \times 10^{-6}$) Eslora= 6 metros, con una superficie mojada de 7m².

Podemos calcular Re para cada distancia a partir de la proa. Para la distancia de 1 metro de la proa tendremos,

$$\text{Re} = \frac{\text{velocidad} \times \text{largo}}{\text{Viscosidad}} = \frac{0,52 \text{ m/s} \times 1\text{m}}{1,4 \times 10^{-6}} = 0,37 \times 10^6 = 370.000$$

O sea a 1m de la proa a popa a 1 nudo de velocidad tenemos capa límite laminar.

Ahora veremos teóricamente hasta que distancia nos acompaña esta capa, o sea a que distancia de la proa tenemos un Re = 1.000.000:

$$\text{Re} = 1.000.000 = \frac{0,52 \text{ m/s} \times D}{1,4 \times 10^{-6}}$$

Luego distancia D = 2,70 m

Esto significa que a 1 nudo de velocidad podemos tener la idílica capa laminar en un largo de 2,70 m medidos desde la proa mojada. Si no tenemos más viento que para esa velocidad, nadie debe perturbar la navegación con movimientos bruscos que rompan la estabilidad de esta capa límite. Para que esto suceda, la superficie debe estar limpia, sin grasas ni protuberancias.

Para calcular el arrastre por fricción del lightning, se considera la eslora total mojada. Para efecto de cálculo pondremos 6 metros (es menor)

$$\text{Re} = \frac{0,52 \times 6\text{m}}{1,4 \times 10^{-6}} = 2,22 \times 10^6 = 2.220.000$$

Este Re nos indica que la capa límite en la parte posterior es turbulenta.

De acuerdo a tabla, el coeficiente de fricción Cf. = 0,003

Aplicando la fórmula,

F.Fricción = $\frac{1}{2} \times C_f \times \text{densid. agua} \times \text{sup mojada} \times V. \text{ al cuadrado.}$

Fuerza de gravedad

F Fricción = $0,5 \times 1.000 \text{ k/m}^3. \times 0,003 \times 5,50\text{m}^2. \times 0,52 \times 0,52 = 2,23\text{N} = 0,22 \text{ kilos}$

Ahora, si la velocidad es de **5 nudos**, la fricción aumenta a **= 5,50 kilos**

Podemos decir entonces que si la capa laminar nos acompaña hasta 2,70 metros desde la proa, con una velocidad de 0,52 m/seg. (1 nudo), entonces para aumentar la velocidad conviene tener un casco en contacto con el agua de un largo no mayor que esos 2,70 metros iniciales para lo cual la tripulación deberá moverse más hacia proa o levantar la popa, o sea achicar el casco mojado en el largo. Desde luego no se puede lograr pero la idea es disminuir la superficie mojada en lo que se pueda.

He querido hilar fino en este tema, porque muchas veces estamos en regata y el viento desaparece. Un buen navegante debe saber mover su bote con viento y cuando apenas es una brisa. En ambos casos los pequeños detalles hacen la diferencia, y como bien saben los que han estado en situaciones de poco viento en regatas, las mayores ventajas sobre el resto de la flota se pueden lograr precisamente cuando el viento escasea y la concentración es máxima.

Esto explica la técnica que se debe emplear cuando el viento es poco, y la velocidad es cercana a 1 nudo. Creo que si el mar está tranquilo esta técnica es valedera hasta 2 nudos, o sea la velocidad a la que normalmente camina un humano “cuando está sobrio”.

Cuando navegamos sobre el agua quieta, la capa laminar, que es la deseada por su bajo freno, nos puede acompañar hasta números de Reynolds mayores de 1.000.000. Si las aguas están agitadas la turbulencia comenzará antes.

Esto explica además un fenómeno conocido por los regatistas. El que parte en punta en una regata encontrará agua y viento menos agitado que los que parten tardíamente, y por lo tanto menos freno, mayor velocidad, ya que la capa límite laminar estará presente por mayor distancia en ese bote para velocidades bajas, y para velocidades mayores, la separación o formación de estela con enorme freno se formará primero a los que tengan aguas más agitadas, o sea a los de atrás. Esto es navegar con el freno de mano puesto.

Mi querido tío Poncho siempre decía: **“buey lerdo siempre toma agua turbia”**

La técnica para navegar con poco viento además aconseja escorar el bote hacia sotavento para lograr dos ventajas. La primera disminuir la superficie mojada, achicar la eslora, y la segunda es tener o mantener las velas con la forma por gravedad, ya que así no gastaremos energía del viento en formarlas previo a que comiencen a trabajar, aparte de la modificación del ángulo de ataque y largo de cuerda o profundidad. (ver afinamiento)

Teóricamente con velocidades de 2 nudos tendremos capa laminar cercana a 2,70 metro a partir de la proa. Con 3 nudos de velocidad la capa laminar estará cercana a los 90 centímetros desde la proa, o sea nada y la capa límite será turbulenta, pero probablemente sin separación.

El problema a estas velocidades y las superiores no es la capa límite turbulenta que probablemente todos los competidores la tendrán, sino **la separación** o desprendimiento de la capa límite y la formación de estela o grandes turbulencias.

Para ayudar a nuestro casco a evitar la separación debemos seguir algunas recetas:

- Tener un casco sin protuberancias ni defectos,
- Mantener como espejo la superficie del casco cercano a la proa.
- Mantener la superficie del resto del casco con la rugosidad adecuada y por sobre todo, limpio.
- Preocuparse de la zona orza, caja de orza, desagües, con el casco.
- La orza jamás debe vibrar ni tener mucho juego.
- Mientras navegamos, mantener el bote plano y estable, de forma que la corriente libre, o sea el agua que está fuera de la frontera de la capa límite fluya limpiamente,
- Evitar moverse bruscamente a bordo, pues esa pequeña aceleración o freno es la que podría estar necesitando el enemigo para organizarse,
- Mantener el límite inferior del espejo de popa a ras o fuera del agua.
- Evitar un excesivo abatimiento y deriva, pues en esa circunstancia el estamos modificando la forma del casco. El recorrido del agua, siempre es ligeramente diagonal respecto a la crujía.
- La orza acepta un límite de abatimiento en que trabaja eficientemente. Más allá de ese ángulo de abatimiento deja de funcionar como elemento antideriva y provoca un enorme freno.
- Andar en punta o en aguas quietas y viento poco agitado,
- Tratar de usar al mínimo el timón.
- Experimentar con la rugosidad.

Mi amigo Nacho me preguntaba por la causa que impedía sacar buen rendimiento a su bote en aguas “chopi”, o sea con olas cortas, seguidas y desordenadas que son comunes en aguas someras o de poca profundidad. La respuesta la he dado en estas líneas. La separación de la capa límite se anticipa cuando el agua de contacto está muy agitada.

Cuando se trata del aire, la naturaleza ha dotado a los pájaros planeadores, y que necesitan velocidad, como los albatros, de alas de gran envergadura y poca cuerda, o sea justo la que precisa para las velocidades que le son comunes sin que se provoquen turbulencias por separación en sus alas.

En nuestro bote, a medida que crece el viento más esbeltas deben ser nuestras velas, orza y timón, entendiéndolo como tales, tener la misma altura que con menor ancho o cuerda. De este modo la zona de aguas abajo que es donde se formará con seguridad la turbulencia, nosotros no la tendremos. Lamentablemente mientras navegamos sólo tenemos la opción de modificar velas y no el casco.

Cuando sopla mucho, normalmente se recurre a los rizos. Es una forma de achicar la vela. Para los foques existen enrolladotes. Existen veleros con mástiles que enrollan la mayor disminuyendo superficie y cuerda, que es un método más eficiente que los rizos.

En términos prácticos una orza adecuada para vientos fuertes o mayores velocidades deben ser esbeltas, de poca cuerda, rígida y con un espesor no superior al 9% de la cuerda, que no tenga flexión y con la forma que se aconseja en capítulos dedicado a la orza o del quillote.

Si conocemos la velocidad máxima de nuestro bote en determinado rumbo, podemos definir la cuerda máxima del quillote.

Aplicando el Número de Reynolds, la cuerda de un quillote no debería superar los 37 centímetros.

22.2.-Resistencia por forma

La resistencia por fricción más la resistencia por forma constituyen en una ceñida con oleaje normal, a una velocidad de 5 nudos, más del 70% de la resistencia total al movimiento de un velero.

Repitiendo lo dicho para el viento, una placa lisa puesta de canto o paralela al flujo genera fuerza de fricción y escasa resistencia por forma. Si esa misma placa lisa la colocamos perpendicular al flujo, la resistencia que operará en este caso será por forma o por presión, y no generará resistencia por fricción.

En cuerpos de otras formas, ensayados en túneles de viento, como cilindros, esferas, la resistencia rozamiento es alrededor del 10% del arrastre o resistencia por forma. Pero cuando el objeto es alargado como cascos de embarcaciones y el agua debe recorrer una distancia en contacto, aparece el tema de la capa límite y este porcentaje aumenta, y los porcentajes indicados tienden a igualarse.

Para calcular la resistencia por forma que el agua provoca en un casco, se considera como superficie expuesta, la proyección de la superficie en sentido horizontal, multiplicado por un coeficiente.

En las placas planas se llegó a la conclusión que el coeficiente de arrastre oscilaba entre 1,16 si la placa es cuadrada, y 1,50 si es 20 veces más larga que ancho. .

ejemplo:

Para un letrero de 6 m²., que está perpendicular a un viento de 5 metros por segundo, densidad del aire = 1,20 k/m³.

Para calcular esta fuerza de presión directa o arrastre por forma se emplea la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} \times \text{Coef.} \times \text{Densidad} \times \text{Sup.} \times \text{Veloc}^2$$

$$F_d = \frac{1}{2} \times 1,16 \times 1,2 \text{ k/m}^3 \times 6 \text{ m}^2 \times 25 = 104,40 \text{ N} = \mathbf{10,40 \text{ kilos}}$$

Si este mismo letrero tiene que soportar una corriente de agua, en lugar de aire, entonces la fuerza de arrastre por forma es:

$$F_d = \frac{1}{2} \times 1,16 \times 1.000 \text{ k/m}^3 \times 6 \times 25 = 87.000 \text{ N} = \mathbf{8.700 \text{ kilos}}$$

0 sea, la fuerza que ejerce el agua es equivalente a 836 veces la fuerza que ejerce el viento sobre el mismo objeto.

Por esta razón es que reitero que debemos preocuparnos de la zona mojada para movernos más rápido, trabajo que debe hacerse en la mayoría de los casos, antes de meter el bote al agua. Navegando, nos queda la preocupación de no arrastrar la popa o no ir “encausado” como dice mi amigo Luis Hoffman o encabuzado como dice el libro “Marinero Pescador” editado por la Mutual de Seguridad de la Cámara Chilena de la Construcción.

Para el caso de nuestro Lightning, se considera la proyección de superficie mojada sobre un plano normal, (como se ve la parte mojada mirando desde la proa a popa)

Esta superficie varía según el peso del bote, de los tripulantes y el peso del “cocaví”, y de donde vayan sentados.

El coeficiente para un fondo de casco con formas hidrodinámicas, supondremos que es la cuarta que para un cilindro.

Para este efecto supondremos que esta proyección es de 0,15 m². y la velocidad 1 nudo = 0,52m/seg.

$$F_d = \frac{1}{2} \times 1.000 \text{ k/m}^3 \times 0,09 \times 0,1887 \text{ m}^2 \times 0,52 \text{ al cuadrado} = \mathbf{0,234 \text{ kilos}}$$

9,8

Si la velocidad es de 5 nudos o sea 2,58 m/seg., entonces la fuerza de arrastre por presión es de:

$$F_d = \frac{1}{2} \times 1.000 \times 0,09 \times 0,1887 \text{ m}^2 \times 2,58 \times 2,58 = \mathbf{5,77 \text{ kilos}}$$

9,8

Resumiendo, freno por fricción más arrastre por forma,

a un andar de 1 nudo, el freno total = 0,22 + 0,23 = 0,45 kilos

a un andar de 5 nudos, = 5,50 + 5,77 = 11,27 kilos

(nótese que en este caso fricción y arrastre son prácticamente iguales)

Esto significa que para navegar en un mar completamente plano, a una velocidad de 5 nudos, la componente en el sentido de la proa debe suministrarnos una **fuerza no menor a 12 kilos** para vencer sólo las fuerzas parásitas. Si las fuerzas parásitas del agua sobre el casco son el 70% de la resistencia total, la fuerza necesaria para navegar a cinco nudos debe ser de **17 kilos**.

Recordemos que el cálculo de la resistencia aplicando la fórmula de Manning para canales de agua nos dio **16,78 kilos. O sea ¡vale!**

Es fácil darse cuenta ahora de la importancia que tiene la resistencia en el agua cuando aumenta la velocidad. El incremento es al cuadrado.

Cuando estamos mal ubicados sobre el bote, o por el exceso de peso, ¡de que terrible manera afecta a la velocidad!

Si la tripulación es más liviana y además van sentados de modo que la proyección sea la menor posible, esta proyección puede ser por ejemplo 0,10 m². , entonces la fuerza de arrastre por presión es de:

$$F_d = \frac{1}{2} \times 1.000 \times 0,09 \times 0,10 \times 2,58 \times 2,58 = \mathbf{3,06 \text{ kilos}}$$

9,8

O sea que a 5 nudos, nos estamos ahorrando una fuerza, opuesta a nuestro avance, de $5,77 - 3,06 = 2,71$ kilos en forma permanente, sólo si achicamos la proyección de la superficie inmersa en $0,05 \text{ m}^2$.

Podemos sacar como conclusión que si la tripulación va sentada muy a popa, con el espejo hundido, es la mejor forma de ir despacio respecto de otro bote que está preocupado de evitar este defecto, y que nos está sacando ventaja. El capitán escucha el ruido del agua por la popa y si la salida del agua es agitada, entonces quiere decir que se está gastando la energía del viento en agitar agua, y en oponer la máxima superficie en romper el agua, y no en avanzar.

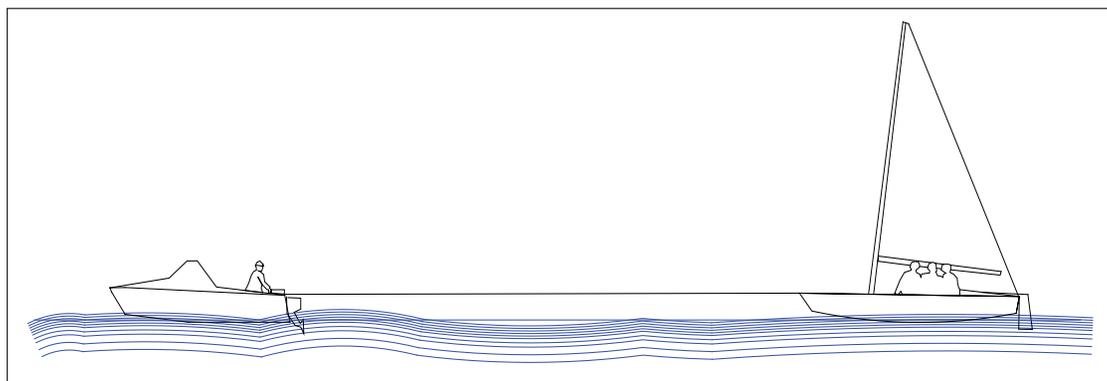
Un bote mal estibado además lleva un rabo de turbulencias amarrado a la popa, y el encargado de sacar más velocidad, dos largas orejas de burro.

Todo lo que logremos en achicar en la proyección horizontal de superficie se traducirá en velocidad. La preparación y limpieza antes de la regata se traducirá en menos freno. Navegar en aguas y viento limpio significará que el rabo de turbulencias es menor.

Experimentando en el agua:

Debo confesar que la aplicación de las fórmulas usadas así como la determinación de los coeficientes de arrastre por rozamiento y por presión directa del agua, que siempre son aproximadas, me llevaron a dudar del resultado obtenido. Por tal motivo con la ayuda del personal del Club de Yates de la Herradura echamos al agua el Lightning N° 13.350 con mástil y sin velas y lo remolcamos a 5 nudos en un mar plano, con una larga cuerda amarrada a un dinamómetro.

Pudimos comprobar que la fuerza necesaria para mantener la velocidad de cinco nudos con los tripulantes ubicados en la zona media y el casco plano fue de 12 kilos. Cuando la tripulación se fue más a popa, la carga aumentó a 14 kilos, y cuando uno de los tripulantes se puso demasiado adelante y el resto al medio, la fuerza de tracción fue de 13 kilos, lo que nos ha dejado muy satisfechos y más seguros de lo que estábamos afirmando.



22.3.- Resistencia por formación de olas. Hull speed

El concepto de “hull speed” proviene de la ingeniería naval, y fue utilizado con éxito para explicar el nado de los patos por Prange y Schmidt-Nielsen en 1970. (Textual) Tanto en barcos como en patos, cuando se alcanza la “hull speed” se produce un rápido y asintótico aumento de la resistencia y, consecuentemente, del gasto energético.

Nota: Cuando se refieren a patos, pueden ser los plumíferos patos, que generan olas parásitas al igual que “el Pato” que fue un casco pequeño creado por Carl Maertens en 1936 en Alemania.

Se puede comprobar a simple vista que cuando nuestro bote navega sobre aguas quietas, la proa genera un sistema de olas parásitas que avanzan acompañando a nuestro bote por la proa. La longitud de onda es variable y característica de cada velocidad del casco.

La longitud de onda crece en proporción directa con la velocidad. Llega un momento en que la longitud de la depresión de la ola generada iguala el largo mojado del bote. En ese momento la resistencia aumenta bruscamente al extremo que navegando se hace difícil sobrepasar esa barrera de velocidad. Se denomina “**hull speed**” o velocidad máxima del casco, y es característica de cada eslora o barco.

En la aeronavegación este fenómeno equivale a traspasar la barrera del sonido. Los aparatos fabricados para ese evento tienen motores poderosos capaces de aumentar la potencia y de ese modo sobrepasar la velocidad del sonido.

En nuestros veleros no contamos con mayor potencia que nos aumenten la velocidad. En cascos livianos podría lograrse modificando la eslora mojada o buscando un rumbo que nos permita aumentar la velocidad.

El cálculo para cada casco es sencillo aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Hullspeed (en nudos)} = 2,44 \times \text{raíz cuadrada de la eslora mojada (en metros)}$$

Un pirata puede tener 4,80 m de eslora mojada por lo que su máxima velocidad, su hullspeed, es de 5,35 nudos.

Para un Lightning la hullspeed es de 5,88 nudos.

Esta resistencia a la máxima velocidad representa **cerca del 20%** del total de la resistencia al desplazamiento, lo que significa que esta velocidad se puede sobrepasar, pero a costa de vencer esta enorme resistencia.

Para velocidades menores de 2 nudos de un Pirata, la resistencia por oleaje no es significativa.

Se puede concluir que un barco más largo siempre será más rápido que uno de menor eslora. Los actuales yates de regata, especialmente los Copa América han incorporado esta variable evitando las proas y popas estilo Pilot y agregando faldones de popa, precisamente para aumentar la eslora mojada, y además disminuir el efecto del cabeceo en el sentido longitudinal. Como resultado de estas fórmulas podemos ver yates de gran eslora y reducida manga. ¿Será conveniente si se considera el mayor arrastre por frotamiento?

Cuando están las condiciones para romper este límite que la depresión de la ola nos impone, ya sea porque tenemos un fuerte viento, o porque nos están remolcando, o tomamos una ola adecuada, entramos en planeo, o sea cuando nos deslizarnos sobre el agua y este efecto prácticamente desaparece.

Este tipo de resistencia por ola, que es característico de configuraciones hidrodinámicas, contribuye en forma notable a la resistencia total del barco, especialmente cuando se trata de velocidades cercanas al hullspeed.

El origen de esta resistencia puede ser catalogado como potencial, y es debido a la energía que el barco transmite a la superficie libre en forma de olas parásitas.

Podemos agregar a este tema, que en regatas es conveniente evitar navegar en la ola de otra em-

barcación mayor, pues podríamos caer en una ola cuya depresión sea la de nuestra eslora, o sea nuestro hullspeed se provocaría bajo estas condiciones a menor velocidad.

El diseño de grandes barcos cargueros de última generación ha incorporado proas con un gran bulbo bajo el nivel del agua. Con este sistema se ha reducido en gran medida el efecto de freno por generación de las olas parásitas.

De acuerdo a esto, la única manera de que el efecto ola no nos frene por este factor sería tener el casco como submarino, o sobre el agua.

Los aerodeslizadores pueden desarrollar 75 nudos, y se han usado como transbordadores en rutas cortas y mar plano. Los hidrodslizadores funcionan fuera del agua gracias a unas alas o patines que lo separan del agua a medida que aumentan la velocidad. Son inestables en aguas agitadas.

En regatas en que participan muchos tipos de embarcaciones nunca deben competir embarcaciones que navegan con otras que se deslizan. No son comparables ni pueden aplicarse tablas de equivalencia. Simplemente son dos casos diferentes o formas distintas de desplazamiento.

Los nadadores olímpicos, que saben de este fenómeno (hullspeed), cuando se lanzan al agua permanecen bajo el agua más tiempo que el que pareciera lógico. En realidad están tomando más velocidad que la que se puede lograr sobre el agua.

El efecto ola hace que los ganadores siempre sean los de mayor estatura. Por mucho que patalee o bratee, un nadador de poca estatura, el mejor de todos, jamás logrará la velocidad de uno de mayor altura. ¡A veces la vida es injusta!

22.4.- Resistencia inducida.

Recordaremos que dos masas de aire o fluidos en general no se mezclan cuando tienen distinta presión, o distinta temperatura. De paso diremos que cuando nos encontramos con rachas y cambios bruscos del viento, es porque estamos en la zona en donde se encuentran dos corrientes de distinta velocidad y por lo tanto de presión. El giro de este remolino será en el sentido favorable al que aporta mayor masa y velocidad, el que tiene mayor inercia.

Básicamente la inducción, efecto no deseado en cualquier parte de nuestro velero, consiste en la circulación de flujos de agua sobre las caras del casco, del quillote, en la pala del timón, en un sentido diferente al flujo general y lógico y cuyas consecuencias son la formación de vórtices o remolinos en el borde de fuga y al final del timón o del quillote y eventualmente en las esquinas del espejo de popa. Estos vórtices, formados por dos flujos diferentes, se adhieren a las partes sólidas como una cola o rabo y provocan freno cercano al 10% del total del arrastre.

Este efecto es mayor cuando aumenta el abatimiento y la escora, porque la embarcación va, permítaseme la comparación, como caballo corralero, que avanza tanto para adelante como para el lado.

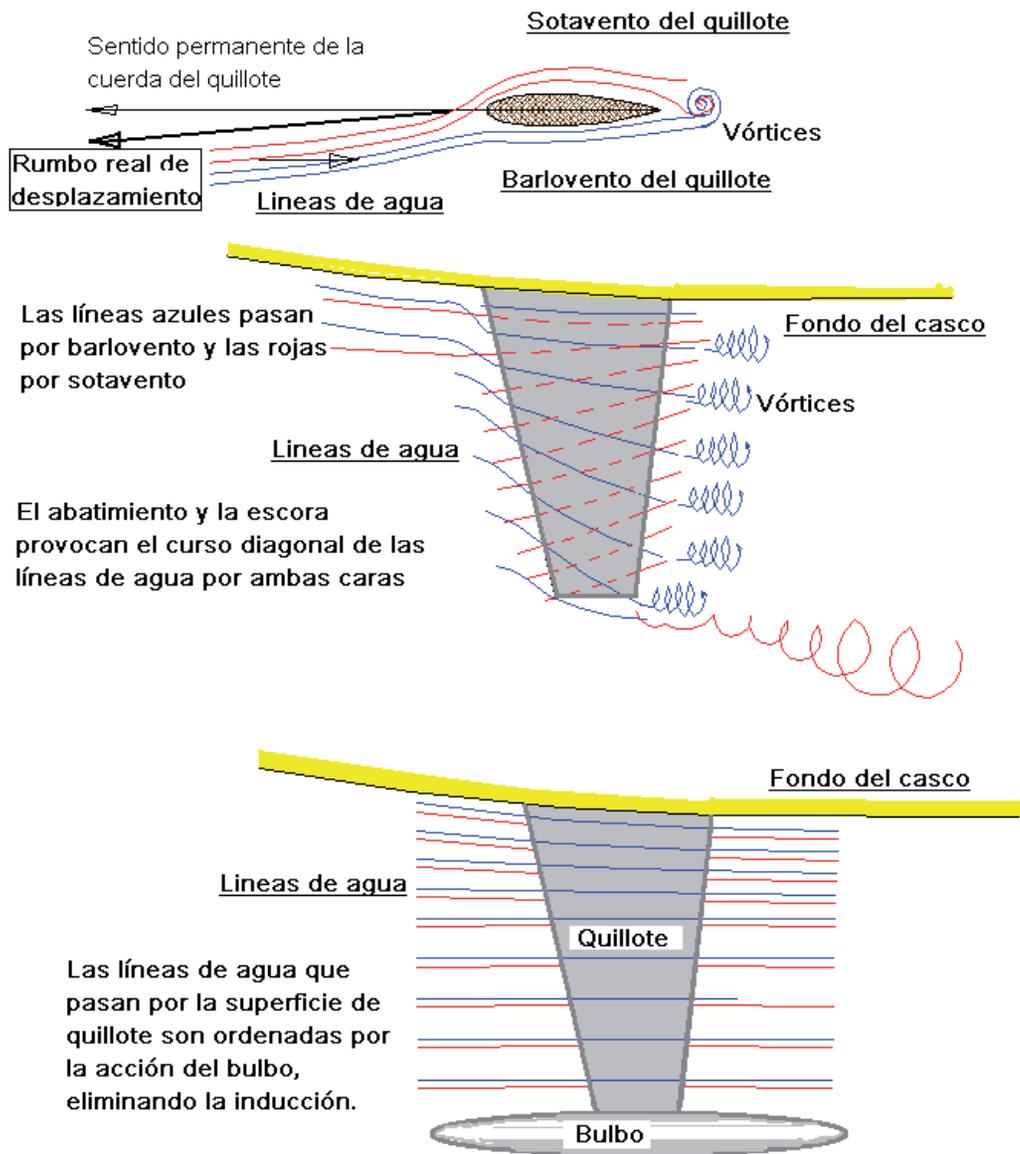
El abatimiento jamás se elimina completamente de una embarcación navegando cuando existe viento. Un velero que es capaz de navegar eficientemente con un abatimiento de 4 grados es un muy buen velero. Nuestras orzas y quillotes colapsan cuando el abatimiento es cercano a los 9 grados.

Al aumentar la velocidad, la resistencia inducida disminuye, porque el abatimiento puede reducirse y porque las líneas de agua tienden a seguir el flujo general. Pero ¿Cuál es el punto justo en la velocidad en que la resistencia por roce y forma (fuerzas parásitas) más la inducción es mínima?

Al igual que un automóvil que tiene una velocidad de crucero, o sea que tiene el mejor rendimiento, nuestra embarcación también tiene una máxima velocidad en determinado rumbo, para un determinado viento, que se logra cuando la resistencia total es mínima. La tarea es determinar en qué rumbo obtengo la mayor velocidad. (VMG = Speed Made Good)

color

Quillote con abatimiento de 5°



La orza siempre trabaja como el ala de un avión, con un ángulo de ataque igual al abatimiento. Por un lado recibe la presión directa del agua y por sotavento de la orza (barlovento de la vela) se provoca sustentación, que trabaja en contra del abatimiento. El recorrido del agua por las caras de la orza no es horizontal. Por el lado de sotavento, las líneas de agua que van hacia atrás se desvían hacia abajo, mientras que la sustentación provoca el desvío del recorrido hacia arriba. En la línea de fuga de la orza y especialmente en el borde inferior se organiza la mejor de las turbulencias que se manifiestan como remolinos perfectos que cuelgan como trenzas de la orza. Es energía perdida que proviene de la que captamos del viento a través de las velas.

De nada vale saber como obtener el máximo rendimiento a las velas si la energía captada la vamos a desperdiciar en agitar el agua.

Por este motivo es que las orzas de los más modernos yates de regata, que no pueden luchar con la escora, tienen gran envergadura con secciones similares en todo el alto, y un alerón o bulbo dispuesto en forma perpendicular en el extremo, que aunque provoca algo de freno por forma y roce, ordena las líneas de flujo en el alto de la orza, eliminando gran parte de la resistencia inducida en la orza.

Existen alas de aviones que incorporan láminas extremas perpendiculares o bulbos precisamente para disminuir este efecto.



He visto apuntes que aconsejan navegar en ceñida con el timón un par de grados hacia barlovento para crear sustentación, y de este modo ayudar al equilibrio del barco. Al considerar estos efectos poco conocidos como la resistencia inducida, creo que lo mejor es navegar, ojala sin timón para evitar mayor arrastre, pero como es poco práctico y el timón existe, el consejo es mantenerlo en posición del verdadero rumbo, o sea considerando el abatimiento, de tal forma que no cree resistencia inducida o sea que no trabaje, porque se supone que somos capaces de equilibrar el barco con la posición o trimado de las velas, y con la disposición de la tripulación a bordo, con los ajustes y evitando la escora, sin tener la necesidad de recurrir al timón, salvo para situaciones especiales.

Mover el timón siempre significa freno.

La escora es el mejor alimento del freno o arrastre por inducción, sobre todo en aquellas embarcaciones que tienen quillas de cuerdas largas.

22.5.- Resistencia por fuerzas inerciales

o Aceleraciones Temporales, oleaje.

Es un concepto que se aplica principalmente cuando se trata de calcular la resistencia de pilotes que soportan un muelle en el mar, y que están expuestos a recibir permanentemente la acción de una carga adicional provocada por un sistema de olas. Este principio es plenamente aplicable a lo que sucede en nuestra embarcación mientras navega.

Aun cuando estas fuerzas no significan un freno cuando la velocidad es constante, vale la pena tenerlas en cuenta cuando aparecen olas que provocan aceleraciones o frenazos.

Si se compara nuestro bote con un automóvil, cada vez que tenemos que detenernos por un semáforo, o acelerar para evitar una colisión, se está gastando energía que no habría sido necesario gastar si hubiésemos mantenido la velocidad constante o no hubiera existido el obstáculo. En carretera un auto gasta menos bencina que en la ciudad precisamente por esto.

Cada vez que perdemos velocidad, el aparente nos obliga a modificar el trimado para captar la energía que necesitamos para restablecer la velocidad que traía el bote.

Tal como vimos en el capítulo destinado al oleaje, **cada ola trae dos formas de energía: cinética, y potencial**. La primera se manifiesta por el movimiento de las partículas que avanzan y retroceden describiendo una trayectoria circular o elíptica dependiendo de la profundidad, y cuya altura depende del alto de la ondulación. La energía potencial es la altura de la masa de agua. La aceleración de las partículas en el sentido de la ondulación se produce entre las partes bajas y la cresta de la ola, y el movimiento de retorno o resaca se produce en el valle o parte baja entre dos crestas.

Esta fuerza adicional con que la ola actúa sobre el pilote que está quieto o sobre el casco de la embarcación en movimiento, es una fuerza inercial cuya dimensión se calcula utilizando el concepto de **masa añadida, para lo cual es necesario conocer el volumen de agua desplazada y la magnitud de la aceleración**.

La fórmula de masa añadida es:

$$\begin{aligned} F_{\text{inerc.}} &= \text{Densidad} \times \text{Volumen} \times \text{Aceleración, ó} \\ &= \text{Peso} \times \text{Aceleración} \end{aligned}$$

Los primeros experimentos llevados a cabo por Morrison en el año 1950 demuestran que para condiciones de baja velocidad, poca aceleración y olas pequeñas el concepto de cálculo es exacto. Pero cuando la velocidad es mayor y nuestro flujo es afectado por la separación, esta expresión de cálculo debe ser aumentada mediante un coeficiente inercial que va de 1.00 a 2.50 dependiendo del número de Reynolds.

Si la ola viene reventando debemos agregar el impacto sobre nuestro casco de forma que nos hará aumentar el freno, perder altura y aumento de la deriva. He visto yates de regatas con proas especialmente bajas diseñadas para navegación en lagos. Quizás se deba a que exponen menos superficie al impacto de la ola de agua dulce que siempre viene amenazando con reventar. Pero eso es un tema de diseño.

Este ciclo de frenar y acelerar tiene un costo adicional para nuestra velocidad. Durante ese período, las fuerzas que actúan en contra de nuestro casco son las mismas analizadas anteriormente, o sea más de resistencia por forma y por rozamiento, más el mayor volumen de agua desplazado por nuestro casco.

Si lo ola es muy alta, tendremos que luchar contra la fuerza de gravedad detalle importante que se pudo visualizar al final la película “La tormenta perfecta”.

Podrá decirse que si gastamos energía para subir la ahorraremos para bajar, pero esto no es así. Debemos considerar las **fuerzas inerciales**, la “topografía de la superficie del agua” y las fuerzas parásitas. Normalmente al otro lado de la ola la altura del agua es casi la misma que la parte superior de la ola y la bajada que es más suave, está llena de otras pequeñas olas que también frenan.

Además debe considerarse que al enfrentar la ola que trae velocidad provoca un aumento de la velocidad del flujo que como sabemos desprende cualquier capa límite que se haya podido formar en la superficie del casco en el período en que la velocidad del flujo disminuye en la resaca

Debemos decir que el escenario de un mar con olas siempre es diferente, que cambia día a día y de un momento a otro, dependiendo la distancia en que nos encontramos respecto al lugar en donde se generaron, y de donde provienen y de las corrientes con que se toparon dichas ondulaciones, del encuentro de olas generadas en lugares distintos, de las mareas, de la temperatura, etc.

En algunas oportunidades se dan las condiciones para que se formen olas de “dos pisos”, o sea una ola que se forma encima de una más grande, provocada por un viento que sopló con mayor velocidad que la velocidad de la ola, en el mismo sentido de la ola que venía de más lejos, o sea la ola oceánica. Tienen la característica de ser altas y apenas pasan queda una enorme depresión, por no decir hoyo en el agua, al que caemos con vértigo sólo para hundir más la proa, y azotar las velas, pero no para tomar más velocidad. Esta es una ola que suele aparecer en la zona de Coquimbo no muy lejos de la costa y que también me tocó navegar con mucha dificultad en Antofagasta.

Como vemos, cuando se trata de navegar con olas, es difícil decir en forma categórica que es lo que conviene, o como se debe navegar, para evitar el freno en cada ola y obtener velocidad, porque la respuesta sólo la tiene el capitán de ese barco. El es el único que conoce la forma en que reacciona su barco frente a cada elemento, si es que ha tenido la preocupación de meterse en problemas similares en la etapa del aprendizaje.

Sin embargo a pesar de ser reacio a las recetas, en un mar con olas desordenadas en que debemos vencer en cada segundo la resistencia por fuerzas inerciales, jamás debemos aplanar las velas sino lo contrario para que tengan más potencia que una forma adecuada a mayor velocidad.

Cuando la tripulación se desplaza de proa a popa o al revés, está generando, además de otros efectos negativos para la velocidad, efectos de resistencias inerciales.

Cuando las ondulaciones son ordenadas, se puede desarrollar un plan para acometerlas, sin perder velocidad, pero cuando el desorden se impone en la superficie del mar, es mejor volver a puerto o buscar pronto abrigo.

22.6.-Resistencia por sustentación

Las condiciones favorables por las que el agua genera fuerzas de sustentación en la superficie del casco, nos permite afirmar que existe un aumento del freno del bote cuando este se desplaza por la superficie del agua.

Este freno, relacionado con la sustentación se analizará en la segunda parte de estos apuntes, cuando avancemos un poco más en el conocimiento de este fenómeno, pero adelantaré que jamás existe diferencia de presión entre los costados de una embarcación, como erróneamente explican una serie de libros de navegación para describir este efecto.

23.- Roce o fricción del casco... ¿con el agua?

En varios libros y apuntes de navegación explican que para disminuir la fricción es preferible es necesario lijar la superficie en contacto con el agua, para que el casco tenga un grado de “aspereza granular alrededor de 0,005 milímetros, para que retenga una delgada capa de agua adherida a la superficie del casco de forma que la fricción sea entre agua y agua y no entre **casco y agua**.”

Esta errónea afirmación se sustenta en el desconocimiento absoluto de la existencia de la capa límite ya explicada y en la errada determinación de la dimensión de los granos que forman las superficies rugosas, tema aun en discusión e investigación, hasta esta fecha (Año 2.006)

Tal como explicamos anteriormente, todas las superficies de los objetos en contacto con un flui-

do, sea este aire, agua, petróleo u otro gas, **siempre tienen una delgada capa de fluido adherida que recubre toda la superficie en contacto con el fluido.** De acuerdo a la definición de capa límite, el casco de una embarcación en el agua, nunca entra en rozamiento directo con el agua en que navega, ya que el agua que está en contacto con el casco permanece adherida y sin movimiento, como si se tratara de una parte más del casco y que lo acompaña en cada movimiento.

Lijar la superficie equivale a mantenerla muy limpia y libre de grasas que repelen el agua. Una superficie repelente al agua equivale a tener una deformación u obstáculo que permite la temprana separación y formación de la estela. Si usted desea ser el último de la flota de competidores, agregue cera o silicona a su casco.

A diferencia a estos, en Francia lograron después de costosas investigaciones, productos para permitir aumentar la velocidad de las aguas del alcantarillado de París sin tener que recurrir a ampliar los diámetros de sus colectores. Se logró en parte el objetivo, pero fue impracticable por costo, por la durabilidad y por la dificultad en la aplicación. Productos similares se pueden emplear en navegación, pero están prohibidos en regatas.

Tal como se explicó anteriormente, esta **capa límite** siempre será la que como parte del objeto entrará en contacto con la corriente libre o flujo en el que se someta. **Por lo que nuestro casco y nuestra obra muerta siempre tendrá una capa límite adherida, de agua o de aire y que se mueve con la velocidad del objeto como parte de él, y es la que toma contacto con el resto del fluido en la frontera, en que se manifiesta la viscosidad o el roce. Podemos afirmar que nuestro casco en el agua y nuestras velas en el aire tienen un mayor espesor y por lo tanto más peso que arrastrar.**

Gracias a la capa límite, se puede observar como una mosca puede ir adherida al capó de un auto en movimiento, porque la capa límite se mueve a menos del 1 % de la corriente libre y a 80 kilómetros por hora el espesor de la capa ya es muy superior al tamaño de una mosca, por lo que el viento creado por la velocidad del vehículo pasa por sobre la mosca sin afectarla. También explica la razón por la que el polvo suelto permanece sobre la superficie de un auto aun cuando lleve una gran velocidad.

En un vehículo y por lo tanto en un velero en movimiento, **siempre** el contacto es aire-aire o agua- agua y la resistencia depende la viscosidad del fluido. Siendo el agua más viscosa que el aire, la resistencia creada por el agua es mucho mayor que la producida por el aire.

Con el aumento de la temperatura el aire se pone más viscoso y por lo tanto la resistencia al desplazamiento aumenta. Un avión que debe despegar en una pista muy caliente y por lo tanto en aire más caliente debe emplear más potencia que en un ambiente frío. En el agua el fenómeno es al revés, o sea con el aumento de la temperatura la viscosidad disminuye y por lo tanto opone menos resistencia a un casco que navega. Mi amigo Mario, piloto de profesión y a quien le debo agradecimientos por facilitarme valiosos textos, me explicaba que es necesario meter más motor porque la densidad del aire era menor con el aumento de la temperatura. Es cierto, porque equivale a despegar en un aeropuerto de Bolivia o Paraguay en donde por altura existe menos densidad, y se suma al aumento de la viscosidad, que aumenta el freno por roce, no así por forma.

El roce del casco en el agua ha sido preocupación de muchos autores de textos de navegación, como el que acabamos de comentar, así como otros investigadores de la hidráulica lo hacen con el roce del agua o petróleo que corren por el interior de una tubería, el agua en un canal o del comportamiento de los lubricantes en una máquina para no emplear mayores diámetros o secciones que los necesarios.

Históricamente los primeros que se preocuparon del roce y de las dificultades de un fluido para desplazarse sin dificultad por su conducto fueron los médicos. Una arteria o vena obstruida por la grasa obliga a un trabajo extra al corazón. El tema lo retomaron los investigadores en hidráulica.

Lo último que se ha investigado es el comportamiento de fluidos al circular por tuberías con rugosidad por el interior. A determinadas velocidades, dependiendo del diámetro de la tubería, el roce es menos que si la superficie fuese lisa, pero no es una solución económicamente factible por ahora precisamente por la adherencia en las paredes.

Otro famoso y antiguo autor que merece ser nombrado en torno a este tema es Manfred Curry, considerado máxima autoridad en el tema de la aerodinámica de las velas en los años 50 y que hizo importantes aportes al tema de la vela. Expresa a través de su libro de navegación publicado en 1951, que ***“muchos navegantes engrasan el casco por debajo de la línea de flotación, otros lo enjabonan antes de las regatas, otros lo pulen con un preparado de grafito y aceite de linaza aplicado con un trapo, frotando la superficie y puliéndola”***.

Comenta que de estos tres sistemas, el mejor es el tercero pero que pocos están dispuestos a ensuciar el casco. En cuanto al primero dice que no sirve porque en la grasa se adhiere todo el lodo y pequeñas partículas, formando en poco tiempo una emulsión áspera. En cuanto al jabón dice que se sale en poco tiempo.

El señor Curry recomienda en su libro sobre navegación en el año 1951, que para preparar el casco para una regata, debe lijarse cuidadosamente toda la obra viva y después aplicar una delgada capa de barniz negro. Dice: ***“El barniz negro es especialmente adecuado para la formación de mucílago. Al tercer día después de haber sido botado el barco, se habrá formado la capa mucilaginosa y la superficie será tan lisa como un cristal”***.

“Al tratar la superficie con aceite, el agua no permanece en una superficie aceitada sino que corre, prácticamente, sin fricción”.

El descubrimiento de **la capa límite** se debe al ingeniero alemán Ludwig Prandtl en el año 1904. A partir de esa fecha los investigadores entendieron como la viscosidad afectaba el comportamiento del flujo al tomar contacto con cualquier cuerpo. Sin embargo ninguno de los mencionados autores, ni siquiera los más modernos, la considera en sus errados razonamientos.

La rugosidad es motivo de otro tema más complejo que intentaré explicar a continuación, sin embargo antes de meternos en el tema, diré que sólo existe una relativa claridad en los sistemas cerrados como en tuberías en donde el comportamiento de los fluidos es diferente a cuando se mueven a en ambientes libres.

También están tabulados los coeficientes que debe aplicarse a los flujos en canales abiertos para determinar el arrastre, cuando las superficies de estos son de hormigón, madera cepillada, tuberías de hierro fundido, plásticas etcétera, a determinada velocidad y características de flujo.

La rugosidad es un problema de freno mayor que si las superficies fuesen lisas, pero para flujos muy lentos o laminares.

Para velocidades mayores la nebulosa aun persiste, y tengo sólo noticias de unos investigadores que experimentaron sobre el tema con buenos y caros laboratorios, pero la entrada a su portal ya significa muchos dólares. Las publicaciones a las que he tenido acceso sobre el tema sólo llegan a expresar resultados de experiencias sin justificaciones matemáticas.

Al incursionar en este tema, tengo claridad que puedo caer en errores similares en los que incurrió el señor Curry en su libro y muchos otros autores, o sea puede ser que algo importante se haya

descubierto en torno a este tema y yo no me haya enterado, pero como dije al principio, siempre es valioso dar a conocer y exponer los conocimientos que se tengan sobre este u otro tema y es preferible exponernos al escarnio público a mantener guardado lo que a muchos otros navegantes puede serles de gran utilidad.

24.- Efecto “piel de tiburón”

Iniciaré este tema relatando lo que sucede con el comportamiento del flujo sobre el casco.

Un casco de superficie absolutamente lisa que se desliza sobre el agua, mantiene una capa límite laminar que va aumentando de espesor hacia popa, hasta que a una determinada distancia o espesor de capa, se inicia una etapa de transición a capa turbulenta. Durante esa etapa, el agua ofrece poca resistencia al avance, o sea el arrastre es poco. Después de la zona de transición la capa límite se torna totalmente turbulenta, aumentando de espesor y también aumenta la cantidad de arrastre. Ahora nuestro casco ha incorporado, por decirlo así, una capa de agua de mayor espesor que se suma al espesor del casco, y que se mueve casi a la misma velocidad del casco. Dadas las condiciones y más a popa, esa capa comienza a desprenderse formándose la estela que nos frena en una proporción mucho mayor que en las etapas anteriores. Se inicia la separación de la capa límite. A partir de esta etapa, se forma bajo la turbulencia, una nueva capa límite ahora generada por la circulación del flujo que corre en un rumbo opuesto, entre la estela y la nueva capa límite. Es la zona de máximo freno al desplazamiento.

Una superficie rugosa, mantiene una capa laminar a lo menos hasta que el espesor de la capa límite laminar iguala la altura de las puntas que conforman dicha rugosidad. A partir de ese momento o situación, la formación de las capas límites se comportan como si se tratara de una superficie lisa.

Durante esa fase y hasta antes que el espesor de la capa límite iguale la altura de las puntas que establecen la rugosidad, el coeficiente de arrastre por rozamiento es mayor (puede ser el doble) que si se trata de una superficie absolutamente lisa.

Es de toda lógica que esto suceda, porque la superficie específica, es decir la superficie de la suma de todas las superficies de cada punta de la rugosidad es superior a una superficie plana que no tiene puntas, o sea lisa. Dicho en otra forma, por cada centímetro cuadrado de superficie plana, la superficie rugosa puede tener el doble de la superficie de contacto con el fluido.

Sin embargo, esto que es una desventaja frente a una superficie lisa, a poca velocidad, se convierte en una ventaja cuando la capa límite se torna turbulenta y existe la posibilidad de una separación. Precisamente en esto radica la ventaja de una superficie rugosa al momento de darse las condiciones para que se produzca la separación o desprendimiento de la capa límite. Al existir mayor superficie por centímetro cuadrado, la suma de la adherencia del fluido adherido es mayor en una superficie rugosa que en una lisa, y la capa límite turbulenta permanecerá a lo largo de una mayor superficie del objeto que si la superficie fuera lisa. Dicho en términos simples, la capa límite tiene más en donde “agarrarse” que en una superficie plana y lisa.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo final del empleo de superficies rugosas es mantener la capa límite adherida, ya sea laminar o turbulenta, en todo el casco de proa a popa, y en el peor de los casos evitar la temprana separación de la capa límite que es la causa del máximo freno.

También se ha podido comprobar experimentalmente que una capa límite laminar, que es más delgada y que provoca menos arrastre que la capa límite turbulenta, se separa antes que una capa límite turbulenta de la superficie del objeto, por lo que si se retrasa artificialmente la transición y la formación

de una capa límite turbulenta, **la separación** de la capa límite, efecto no deseado, se provocará más “aguas abajo”, o no alcanzará a formarse, disminuyendo de esta forma considerablemente la resistencia o arrastre.

A manera de recordatorio y empleando fórmulas rígidas, en agua de mar agitada, a 10° se puede tabular lo siguiente:

Velocidad en:	m/s	nudos	Inicio de turbulencia desde proa mojada
1	1,85		1,40 metros
2	3.90		0,70 “
3	5,80		0,50 “
4	7,80		0,35 “
5	10		0,30 “

(En aguas quietas estas distancias aumentan al doble.)

De acuerdo a esto, podríamos pensar que si la velocidad de nuestro bote es de 5 nudos, en aguas turbulentas, los primeros 50 o 60 cm deben ser absolutamente limpios. Si es un bote chico de regata, que eventualmente puede andar a dos nudos, la superficie debe ser lisa de fábrica y limpia hasta 1,40 metros. Y el resto con adecuada rugosidad.

Teniendo nuestro casco una determinada dimensión, el objetivo es por lo tanto tener la mayor superficie, de proa a popa con capa laminar, pero como vemos, esto es prácticamente imposible. Sin embargo a través de la superficie rugosa podemos mantenerla por más espacio con nosotros, hasta que el espesor de la capa laminar iguale la altura de las puntas que conforman la rugosidad. A partir de ese momento todo comienza de nuevo. Después de una pequeña zona de transición aparece la capa turbulenta que es del orden de 20 milímetros de espesor en sus inicios. Lo óptimo es que lleguemos a la popa con esta capa que aunque provoca más freno que la capa laminar es más resistente a la separación.

La aplicación del Número de Reynolds sirve para determinar el flujo en cada parte de nuestro casco y a partir de ese dato, determinar el espesor de la capa límite en cualquier punto del casco, por lo que se puede perfectamente dar la dimensión de las puntas que conforman la superficie rugosa. Para grandes yates que permanecen mucho tiempo en el agua aplicar rugosidad es impracticable porque esa superficie sería el paraíso para que se fijen algas y crustáceos.

Actualmente se desarrollan cultivos marinos con escolleras artificiales especialmente rugosos para facilitar la fijación de algas y moluscos.

De la misma forma en que se puede calcular el espesor de la capa límite, se puede calcular aproximadamente el punto del casco en donde se iniciará la zona turbulenta, pero para una velocidad determinada. Ese punto cambia cuando la velocidad varía. Sin embargo con esos datos se puede llevar a cabo aproximaciones para aplicar la rugosidad en la zona inmediatamente anterior a la zona que debería formarse la turbulencia y de ese modo desplazarla hacia popa.

Algunos capitanes de grandes pesqueros no se explican la causa por la que han obtenido ahorro de petróleo cuando el casco estaba lleno de pequeñas incrustaciones. Nunca entendieron la causa, ni informaron la velocidad media y las condiciones del agua. Esas observaciones serían valiosas para

profundizar en el tema. El ahorro del petróleo debido a su precio bien justifica una mayor investigación en este tema.

Los aeronautas trabajan incansablemente en obtener mayor autonomía de vuelo. A los pilotos de líneas comerciales se les lleva un registro del combustible que emplean en cada vuelo, y muchos son los que aparecen en listas negras. Los mejores son obviamente los que se preocuparon de hacer un buen despegue, y de evitar el aumento de las resistencias parásitas que generan el tren de aterrizaje sin guardar y el mal empleo de los flaps, de leer el radar meteorológico y anticiparse a escoger una buena ruta, de evitar los cúmulos de corrientes ascendentes, de mantener la velocidad de acuerdo a las características del avión y de planear un descenso largo sin emplear motor para evitar dar vueltas innecesarias sobre el aeropuerto. En un barco existe al igual que en los aviones velocidades en que el freno es menor por las características rugosas de la superficie y de la forma del casco.

Trasladados a un velero, la forma en contacto con el agua depende del diseño del casco, de la manutención y rugosidad de la superficie y también de la escora y la estiba que dependen de la preocupación del capitán.

He creído interesante para el desarrollo de este tema, a falta de mayor información escrita, observar a la naturaleza, especialmente lo que sucede con los peces.

Creo que los peces fusiformes, aparte de la forma de su cuerpo, se valen de dos sistemas para mejorar la velocidad en sus desplazamientos: Uno basado en una sustancia mucosa que expele a través de la piel y otro basado en denticulos cutáneos que al tacto es similar a una lija.

Las especies con escamas y sin ellas, expelen una sustancia llamada **moco** de distinta viscosidad según la especie, que cubre la epidermis y que se adecua al medio en que viven, o a las necesidades de supervivencia. Las morenas, bagres y congrios, reptiles que no son expertos nadadores de velocidad, tienen la piel absolutamente suave y recubierta de moco que se desprende con facilidad, que las convierte en muy resbaladizas. Esto tiene que ver con el medio rocoso y de coral en donde se esconden, evitando de esa manera un exagerado roce que daña la piel, la adherencia de parásitos y evita el ataque de sustancias venenosas. Los que tienen escamas recubiertas con moco, presentan un grado de rugosidad interesante para nuestros propósitos. Uno de los peces más veloces es el atún que tiene escamas y moco, pero de mayor viscosidad que la de los reptiles como el congrio y anguilas.

He consultado a expertos ictiólogos pero no han podido explicar el fenómeno físico que ocurre en la zona viscosa de la piel, o sea en la capa límite de agua que debe formarse entre el moco y la frontera. Siendo la piel mucosa perfectamente lisa, (pero con ondulaciones de las escamas) sumada a la velocidad que desarrollan esos peces, deberían formar mientras nadan, enormes turbulencias y por lo tanto mucha resistencia que vencer para avanzar, pero esto al parecer no ocurre por algún fenómeno físico que aun no se detecta. Sin embargo, filosofando un poco podemos suponer que la capa mucosa, que es un recubrimiento que se regenera constantemente debido a unas papilas ubicadas en la piel, se desliza hacia la cola, junto con la capa límite, en el momento en que la separación es inminente, y de ese modo, elimina la posibilidad de separación, con lo que obtiene la velocidad que desea.

Esta presunción se basa en que los peces bajo estrés, producto de un peligro, que es cuando mayor velocidad necesitan para salvarse, segregan mayor cantidad de mucosa, que va quedando en el camino de fuga.

Pero el moco no es solución aplicable en nuestros botes y por reglamento está prohibido en las regatas importantes.

Los tiburones son grandes y veloces nadadores desde hace millones de años y no segregan moco sobre su piel.

Como se sabe la naturaleza permite a las especies ir evolucionando para que se adapten mejor al medio en que se desenvuelven. Estos “bichos” llevan más de 100 millones de años haciendo lo mismo.

Analizando la piel de un tiburón blanco, y otros escualos más pequeños, a los que tuve acceso, pude verificar que tienen varios tipos de texturas rugosas distribuidas en zonas específicas. Alrededor del hocico y en el abdomen tienen pequeños triángulos dispuestos como escamas de distinto tamaño, (que algún día se convierten en colmillos) Los costados del cuerpo, presentan formaciones como pequeños canales de bordes rígidos, duros y ondulantes. La zona de ataque de las aletas, la intermedia y los bordes de salida son todos diferentes pero todos muy ásperos. En general toda la piel es una verdadera lija de distinta rugosidad. Sin embargo en la zona media de las aletas la piel está dotada de verdaderos dientecillos de tres a seis milímetros que la hacen más áspera que el resto del cuerpo.

Analizando estos dos casos y en consecuencia con lo que hemos estado viendo, un pez tan grande y veloz como un tiburón tendría al igual que un casco de nuestro velero, por dimensión, una capa límite turbulenta en la mayor parte de la superficie en contacto con el agua.

Para evitar la temprana formación de estela o torbellinos, la naturaleza y los millones de años de evolución han adecuado su piel con una **rugosidad** que le permite mantener **la capa límite laminar retrasando la separación**. Es más, en las aletas, en donde por la escasa cuerda y por tener mayor movimiento que el resto del cuerpo, la capa debería ser turbulenta, se ha desarrollado una rugosidad varias veces mayor que el resto del cuerpo, precisamente para que al aumentar la velocidad la capa laminar se mantenga sin separación.

Esta característica le permite además efectuar cerrados giros sin que se formen turbulencias.

No he tenido la posibilidad de analizar como emplea esta rugosidad cuando está vivo, nadando y atacando, ¡gracias a Dios!, pero además de lo explicado, sospecho que deben tener la facultad de aumentar dicha rugosidad modificando la posición de estos pequeños triángulos que forman la rugosidad para condiciones diferentes de velocidad.

Estos triángulos que cubren la mayor parte de la piel están orientados con el vértice hacia atrás, permitiendo un suave deslizamiento del flujo mientras avanzan y muy áspero a contrapelo.

Hemos visto que cuando se produce la separación de la capa límite, se genera un flujo adverso, o sea en contra de desplazamiento del casco, y que provoca un importante freno. Nuestros tiburones se las han arreglado para que ese flujo, cuando se produce, trabaje en esas circunstancias a su favor. Lo áspero del contrapelo convierte a ese flujo adverso en un aliado para su velocidad.

¿Será esto un aliciente para investigar la superficie de quillotes y pala de timón?

Al mirar la piel de un cocodrilo, que se mueve normalmente en aguas muy livianas, podría pensarse que las aguas, mientras se desplaza, deberían ser totalmente turbulentas, sin embargo eso no ocurre.

En la década de 1980, en el Langley Research Center de la NASA, se desarrolló un proyecto de I+D basado en el tipo de piel de los tiburones. Los resultados demostraron que la colocación de unas pequeñas ranuras en forma de “v”, denominados riblets, en la superficie anterior de un ala o en el fuselaje de una aeronave reduce un 5-6% la resistencia total, lo que puede suponer un ahorro energético de hasta un 20% (Moin y Kim, 1997). Esta tecnología pronto fue incorporada por la industria aeronaval, y en 1987, el yate “Barras y Estrellas” (Star and Strips) se sirvió de esta tecnología para vencer en la Copa América (Takagi y Sanders, 2000). Logró aumentar la velocidad en 5 % gracias a un sofisticado sistema diseñado por la empresa 3M que costó millones de dólares. Gracias a esto, sumado a la profesional

preparación del equipo, pudo recuperar para su país el disputado trofeo de la Copa América que estaba en poder de los australianos.

Los demás participantes se quejaron por el alto costo que esto significaría para el resto de la flota por lo que la Comisión Técnica de la Organización, prohibió a partir de esa fecha la modificación de la textura del casco.

Para los que se están tentando con esta opción, debo informarles que ese caro producto que consiste en un film que se pega al casco, de no se encuentra a la venta en el mercado.

Este principio basado en la rugosidad que retrasa la separación o estela es el que se aplica en las pelotas de golf, en las de tenis, y béisbol, para que tengan menos arrastre y por lo tanto lleguen más lejos. Una pelota lisa, para una misma fuerza de impacto inicial, es más rápida que una pelota rugosa en los primeros metros de recorrido pero repentinamente su velocidad disminuye. La pelota rugosa mantiene la velocidad inicial en todo su recorrido y llega más lejos que una pelota lisa. Esto no fue descubierto en un laboratorio, como ha sucedido con muchos descubrimientos, sino que fue detectado por jugadores de golf en pleno campo. Ellos vieron que al usar pelotas viejas y llenas de “cicatrices” podían lograr mayores distancias que con pelotas nuevas y lisas. Por eso un fabricante empezó a hacerlas con rugosidades que son las que actualmente se emplean.

¿Ha “chuteado” alguna vez una pelota grande y lisa de playa? Sucede que al principio toma una gran velocidad y de repente se frena. La explicación es que al principio, el aire con el que toma contacto se desliza en forma laminar, o sea ofrece menor resistencia al avance, y cuando esta capa se separa se forman las turbulencias que terminan por frenar a la pelota. Lo mismo sucede con un globo de cumpleaños.

Si la pelota va girando toma una trayectoria curvada. Chanfle le llaman en el fútbol. Esto se logra con pelotas con rugosidad o felpudas como las de tenis. Si la pelota es lisa, la trayectoria es diferente.

Si las pelotas empleadas en el fútbol fueran absolutamente lisas, difícilmente veríamos goles de distancia como en el Mundial de Alemania.

¿Qué sucede con cada parte de nuestro velero?

Cada parte de nuestro velero, casco, mástil, velas, etc. está en contacto con el agua o con el aire por lo que cada elemento tiene una capa límite adherida a su superficie. Para tener la menor resistencia o arrastre, desearíamos tener en cada elemento una capa límite laminar que es la que menos arrastre provoca, o turbulenta pero sin separación, pero esta idílica situación lamentablemente no ocurre en la totalidad de los más influyentes elementos como son las velas y en el casco, cuando navegamos con vientos fuertes.

Cuando sopla fuerte, la capa de aire cercano a la superficie del agua es completamente turbulenta, por lo que el flujo de aire sobre toda la superficie del casco es también turbulento. El viento que reciben las velas es más limpio, por lo que puede haber capas laminares en las primeras partes que toman contacto con el viento.

A propósito de este tema, si mi casco va a tener que arrastrar una capa de agua adherida que se hace cada vez más gruesa hacia popa, ¿que tipo de forma de casco recomendaría tener, uno que tenga una gran superficie en contacto con el agua en la popa o uno que termine en punta?

En las “ligas mayores” emplean cascos con salidas angostas, para privilegiar la velocidad a la

estabilidad sin embargo los que deben empopar en aguas turbulentas con mucho viento necesitan una popa más ancha, una tercera pata para mejorar la estabilidad.

Cuando el viento es poco y la velocidad mínima el arrastre es importante tanto como la concentración de la tripulación, y este peso adicional debe ser considerado. Un Laser tiene una gran superficie hacia popa, por lo que este detalle puede hacer una gran diferencia según la velocidad que lleva.

La tendencia de diseño actual es precisamente con formas más anchas hacia popa. Los grandes yates siempre navegan escorados. ¿Habrán pensado en este detalle? Si no lo han hecho, el capitán debe aprender a gobernar con algún grado de escora u otra forma que impida mayor freno por arrastre y mayor peso parásito del agua en la parte posterior del casco.



En un casco de popa plana y ancha, como el de la foto, la atención de este importante detalle es obligatorio para lograr mayores velocidades, no por mayor potencia de las velas que disminuye con la escora, sino por la disminución del arrastre que provoca la mayor superficie en contacto con el agua turbulenta. Negociar esa relación es tarea de la sensibilidad del timonel, no de un piloto automático.



En un ensayo de laboratorio se revistió la superficie de una esfera con granos muy finos de arena, y se lanzó a un estanque con agua con todos los instrumentos de medición y filmación. Se pudo comprobar que apenas tomó contacto con el agua se formó rápidamente una capa límite turbulenta, que como dijimos tiene una mayor resistencia a la separación y por lo tanto la estela se formó más hacia aguas abajo, disminuyendo notoriamente el arrastre.

“Basados en este principio, se han desarrollado experiencias utilizando mástiles rugosos a fin de provocar una capa límite turbulenta llevando la separación más aguas abajo” (textual). Según los que desarrollaron la experiencia, esto ha disminuido el arrastre sobre el mástil y ha permitido disminuir el espesor del flujo separado sobre la mayor, mejorando su rendimiento, pero esa solución desgasta la tela de la genoa en cada cambio de rumbo.

Ahora podemos opinar sobre estas afirmaciones: En un mástil, que tiene una cuerda corta, que está en contacto con el aire, no es importante la rugosidad.

Actualmente existen empresas dedicadas a fabricar y promover el uso de ropa y equipos para deportistas que tienen que ver con la velocidad, pero las publicaciones técnicas son escasas y la investigación en pleno desarrollo.

Para ciclistas se han diseñado cascos que prolongan la parte posterior de la cabeza para precisamente reducir la estela. En la ropa de velocistas como patinadores, esquiadores y atletas, tanto en brazos como en piernas se pegan elementos parecidos a pequeñas peinetas que provocan capas límites turbulentas, como forma de retrasar la formación de la estela. Para nadadores de elite, trajes piel de tiburón.

Se han hecho experiencias colocando riblets en las alas de los aviones. El ala de un avión por la velocidad a que funcionan, siempre tiene por el extradós una capa laminar turbulenta y un flujo adverso. Informaron que se obtuvo mejores rendimientos “al evitar la separación del flujo”.

En los cascos de grandes yates no se aplica rugosidad por la mayor dificultad en la limpieza y seguramente porque la rugosidad facilita la formación de fouling incrustante. Sin embargo existen pinturas para yates que al secarse quedan con pequeñas irregularidades parecidas a la superficie de una pelota de golf.

Creo que el empleo de riblets en cascos muy largos, cuya popa permite la formación permanente de flujos adversos podría disminuir el arrastre, siempre que mantengan una gran velocidad..

La aplicación de rugosidad en cascos de embarcaciones menores que pueden sacarse después de cada uso, es plenamente aplicable:

Llevé a cabo una experiencia en una regata del Club. Ocupé un viejo y mal tenido casco de un Pirata que tiene 5 m de eslora. El viento era de 6 nudos y el mar plano. Pegue arena fina en la zona media del fondo del casco. La diferencia de velocidad, con respecto a los otros piratas bien preparados pero de casco liso, en la primera ceñida fue notable y obtuve enorme ventaja, pero después en otros rumbos me adelantaron. Puede atribuírsele además un grado de ineptitud de este capitán, pero reafirma la teoría que la rugosidad bajo determinadas circunstancias puede ser beneficiosa.

En otra oportunidad, ahora con un casco de mejor calidad y con más experiencia en regatas y calculando la formación de la zona de transición dejé absolutamente limpio y liso el casco hasta 1 metro de la proa mojada. A continuación mezclé el mismo pegamento con arena muy fina, a lo largo de 1 metro y más a popa usé arena un poco más gruesa. El mar estaba plano, el viento osciló entre los 6 y 10 nudos y los competidores eran buenos. Obtuve un destacado primer lugar.

Últimamente han aparecido velas con texturas que podrían considerarse rugosas o al menos no son lisas como la superficie que se logra con las láminas de keblar. Podríamos decir que por barlovento esas velas provocan mucho arrastre para condiciones de poco viento. Sin embargo podemos afirmar que por sotavento tienen mejor rendimiento que las superficies lisas. Ello porque por sotavento debemos generar sustentación, que depende directamente de la adherencia del flujo a la superficie de la cara de la vela.

Los antiguos libros de navegación recomendaban el empleo de velas de telas suaves más que rugosas, de tejido fino, porque tienen menos roce o generan menos arrastre Ellos nunca consideraron la capa límite para fundamentar sus afirmaciones. Siempre es recomendable evitar el mayor arrastre, ya sea por rozamiento o por forma de los elementos, en las velas y en toda la embarcación, incluso por la ropa que llevamos cuando pretendemos ceñir.

Por barlovento la recomendación está en lo cierto cuando pretendemos ceñir en condiciones de poco viento, porque cuando sopla fuerte, de acuerdo a lo que hemos visto la capa límite que es la culpable del roce rápidamente tiene un mayor espesor que la rugosidad de la tela y la diferencia desaparece.

La rugosidad es un tema para investigar, con más recursos y más tiempo. Me falta lo primero y lo segundo cada día disminuye. Por ahora sólo siembro la inquietud en quien desee profundizar en el tema.

25.- Cabeceo longitudinal o momento de inercia

Cuando una ola levanta la proa de una embarcación, transmite una cantidad de movimiento a toda la arboladura en el sentido de proa a popa, que debe ser equilibrada por la flotabilidad de la popa del barco o por el empuje del volumen agua desplazada por la popa. Cuando la ola ha pasado y la proa descende, la arboladura toma movimiento de popa a proa, que debe ser anulado por la fuerza de empuje

que el agua ejerce sobre la proa. En ambos casos entra en juego la flotabilidad y por lo tanto volumen de proa y popa. Si la flotabilidad de la proa es escasa, cuando la inercia de la arboladura arremete en contra de la flotabilidad de la proa hará que esta se hunda embarcando más agua que la conveniente. Si la proa no logra superar este efecto se dice que la embarcación “se fue por ojo”, y si lo logra es a costa de embarcar agua, y de un gran aumento del arrastre.

La estabilidad longitudinal es la capacidad del casco para atenuar o responder a las fuerzas inerciales que provoca el cabeceo de la arboladura.

En estricto rigor, las fuerzas inerciales no existen, sino que el término se refiere a la fuerza que es necesario aplicar para contrarrestar la inercia de la arboladura que tiene una velocidad y debe llegar a cero.

Este mismo efecto es también aplicable al casco.

El centro de giro del cabeceo de un barco se produce en donde se concentra el mayor peso. Normalmente en un gran yate es donde está el quillote. En un velero menor, en la zona de la orza y la tripulación. Desde ese punto se mide la distancia al objeto que produce el cabeceo.

Si una embarcación tiene un motor con gran peso en la popa, traslada su centro de giro más atrás. Cada ola que ese casco enfrente tenderá a levantar la proa en donde normalmente va el ancla. El peso del ancla genera un momento de cabeceo gigante, por la distancia que ese peso se encuentra respecto al centro de giro. El peso del ancla hunde la proa, pero si además colabora con el cabeceo, la tendencia a hundir la proa aumentará.

Cuando usted entienda como se calcula el momento de cabeceo, seguramente se va a sumar a los fanáticos para ahorrar peso en los puntos extremos del centro de giro.

Momento de cabeceo = masa x distancia al cuadrado.

O sea que si tenemos un hermoso herraje en el tope del mástil de solo 10 kilos, el momento de cabeceo será de:

$$\text{Momento} = \frac{10 \times 12 \times 12}{9.8} = 144 \text{ kilos m}^2.$$

Lo que significa que deberemos desplazara lo menos 144 litros de agua con la proa para oponerse al esfuerzo que hace ese pequeño herraje por hundir nuestra popa y proa alternativamente cada vez que atravesamos una ola. Si el período de la ola es de 6 segundos, el freno se aplicará **¡600 veces en una hora!**

Esta es la enorme ventaja que un mástil liviano, de fibra de carbono o uno de aluminio tiene sobre uno de madera. (piratas clásicos v/s estandar)

Es útil analizar este enorme detalle cuando se va a navegar con grandes olas. Haga usted un croquis de la distribución de los mayores pesos que lleva a bordo y quizás encontrará la razón por la que su embarcación embarca a cada ola, o no tiene velocidad.

Las grandes causas por la que el cabeceo aumenta en una embarcación a vela son:

- Peso del mástil.
- Drizas y aparejos,
- Muebles y equipos emplazados en los extremos,
- Peso del timón y sus sistemas,
- Distribución de la tripulación,
- Saco de velas en los extremos.
- Material de cubierta muy pesado
- Estanques de combustible y agua,

- Un tripulante durmiendo en la cucheta de proa.
 - Dos bellezas adquiriendo tono fascinante con el sol recostadas a proa.
- (En este caso el mayor freno va a favor de la tripulación masculina).

Como es de suponer tanto el cabeceo longitudinal como el transversal provoca serio daño a la velocidad de una embarcación, por el aumento en los factores que provocan freno y porque afectan gravemente al viento aparente para el cual fueron afinadas las velas.

En esto surge una pregunta, y una duda razonable:

Situación A.- Si concentro el peso en el centro, como normalmente nos aconsejan los experimentados, cada ola levantará la proa y bajará la popa, y después que la ola pasa, la proa baja y la popa sube, manteniéndose la cubierta “seca”. Pero esto hace que el mástil y las velas viajen en cada ola de popa a proa, y al revés, con gran velocidad. ¿Que proyecto de forma de vela se puede obtener que responda en forma óptima a este aparente tan cambiante? La respuesta es simple: ¡ninguna!

Situación B.- Si se distribuye la carga a lo largo del casco, elimino gran parte del cabeceo a costa de convertir al casco en un tronco que arremete contra cada ola atravesándola. Con este sistema puedo tener algún proyecto de forma de vela que permanezca más tiempo trabajando, o al menos mucho más que en la situación A pero a costa de un enorme freno.-

¿Cuál es la opción preferible? ¿Menos freno con menos potencia o mayor freno con más potencia? La respuesta no es simple, pero la solución nuevamente está en el timonel o capitán de ese barco. Está en el conocimiento de cómo responde cada embarcación, según la flotabilidad de sus extremos bajo determinada condición de oleaje y sobre todo del recurso viento.

Se puede llegar al extremo de intencionalmente aumentar el peso de los extremos hasta convertir el yate en submarino, lo que permite atravesar cada ola, y salir a la superficie después de permanecer un rato bajo el agua.

Las opciones son de cada cual, pero lo que ha dado mejor resultado en la mayoría de las embarcaciones, es optar a un menor arrastre, o sea concentrar el mayor peso en un solo lugar, ojala en el centro de forma de disminuir la distancia del centro de giro hasta los inevitables mayores pesos de la embarcación, de modo que cuando una ola nos ataque, o ataquemos la ola, la proa se levante con facilidad. No está de más recordar que el mayor freno lo proporciona el contacto con el agua. Romper o atravesar 500 o 600 olas en una hora genera un enorme freno. Mientras menos superficie mojada tengamos menos freno tendremos al desplazamiento.

En ese mar, tan movido y arrugado, siempre tenemos que privilegiar la velocidad, a un mejor ángulo de ceñida, y eso involucra reducir el arrastre.

¿Pero qué sucede con la potencia? Con un gran cabeceo la vela va a sufrir mucho, porque cuando el mástil viaja “hacia la proa”, la vela debería ser plana y muy cazada, y en el viaje hacia popa, la vela debería ser más embolsada y con un mayor ángulo de cazado o más abierta. ¿Cuál es la forma que debemos darle? Recordemos la elección de la marcha de un automóvil cuando estamos en una zona de curvas y pendientes, o sea privilegiar la potencia, con una marcha reforzada, o sea mayor profundidad en la vela y mantener el viento sobre la cara de barlovento, es decir con un ángulo de ataque ligeramente mayor, variando el rumbo en cada episodio de la pasada de la ola, para ayudar a mantener la incidencia del viento sobre la vela.

Navegar en olas exige la máxima sensibilidad y concentración si es que en una regata deseamos ir en punta. Si es que va de paseo, haga trabajar al piloto automático hasta que reviente, pero póngase un traje de agua.

Debemos recordar que el mar es distinto cada día y las características de las olas cambian de

minuto a minuto según lo ordene “la madre de las olas”: el viento, ¿o el padre? Definitivamente todas las recetas para gobernar en un mar con olas, son sólo aproximaciones, porque entre otras cosas, la dimensión de las olas está referida al tamaño del barco.

Si el mar nos presenta olas bien formadas, se puede optimizar la potencia manteniendo el mismo rumbo, abriendo la botavara cuando el mástil viaja hacia popa, y cazando cuando viaja hacia proa, o haciendo trabajar suavemente el timón.

Bajo las mismas condiciones, si la embarcación de menor tamaño y es ágil en el giro, se puede mejorar la velocidad, cayendo a sotavento apenas cruzamos la ola y bombeamos para tomar velocidad, considerando que comienza la resaca, y que coincide con el inicio de la bajada de la ola o sea cuando el aparente aumenta. Apenas se logra mayor velocidad, debemos empezar a orzar lentamente calculando llegar con velocidad a enfrentar la siguiente ola. Es el momento de negociar con la nueva ola, porque si viene más amenazante que las anteriores es preferible no mostrarle la amura franca porque nos mojará, o quedaremos en el aire sin gobierno, y nos afectará mucho más la velocidad ya que nos mueve hacia atrás, cambiando nuevamente el aparente y con aumento del cabeceo. Es preferible salvar algo de velocidad a tener que partir de cero en cada ola.

En tales condiciones, el objetivo es mantener las velas siempre trabajando, en un promedio, pero siempre aportando, por lo que debe aplicarse todos los recursos que se disponen, ya sea orzando y cazando las escotas al remontar y cayendo en la bajada de la cresta o resaca más bombeo, y según algunos expertos, moviendo el peso de los tripulantes. En una ceñida en un mar con oleaje, jamás pretendamos apuntar excesivamente. Más que nunca la tarea será privilegiar la velocidad constante.

Escorar lentamente a sotavento ayuda a orzar antes de enfrentar a la ola y al adrizar la embarcación ayuda a captar más viento en la bajada de la ola. Este bombeo está permitido. Es lo que hace un pájaro cuando quiere aumentar la velocidad o remontar.

El cabeceo lateral no es despreciable. En una empopada, en un yate con orza abatible, se presentó otra situación parecida. Cuando levantaba la orza aumentaba notoriamente el cabeceo transversal y por lo tanto un desorden en la forma de las velas y perdimos lugares. En la siguiente empopada, se mantuvo la orza calada y la mejoría fue notable, porque las velas pudieron trabajar en forma permanente. Hubo más freno por la mayor proyección de la orza, pero el “motor” fue más eficiente. ¿Una excepción a la regla?

Para disminuir el cabeceo transversal o sea de babor a estribor, la distribución del peso de la tripulación es importante. El momento de cabeceo depende del brazo de palanca de la fuerza, es decir de la distancia con respecto al eje de giro, y del peso de la tripulación en este caso. Si la distancia del peso al centro de cabeceo es cero, el momento de cabeceo también es cero.

No me he olvidado del viento: Navegar en olas con poco viento es muy desagradable, porque toda la arboladura sufre constantes golpes y no existe forma de arreglar las velas, excepto darle más twist que el justo y con más bolsa para la potencia. De este modo alguna sección en el alto siempre aporta.

El ideal es tener viento que permita mantener las velas siempre infladas. Es probable que con el cabeceo, trabajen al 60%, pero eso ya es bueno en una cancha muy inestable.

Unos tramposos fabricantes de tablas de windsurf de alta competición, las hacían mucho más livianas que lo permitido para selectos competidores “de su corral”. Las que estaban a la venta eran diferentes a esas. Cuando las pesaban, cumplían con el peso exigido, merced a unos depósitos estancos ubicados justo en el centro de giro en donde estaban dispuestos discretamente unos **¡cilindros de plomo equivalentes al 10% del peso de la tabla!** Estos podían ser retirados según las condiciones del viento, o mantenidos en su lugar para que la tabla siguiera la forma de la ola sin embarcar agua. Pero lo que sucede con una tabla de windsurf no nos sirve de ejemplo para analizar la forma de la vela, porque el cabeceo del casco no obliga al mástil a seguir el movimiento, permaneciendo la vela siempre en la posi-

ción correcta respecto al viento aparente, afectándola sólo el efecto de aceleración y freno de la ola.

En el campeonato sudamericano de tablas División II organizado en Pichidanguí, en el verano del año 1983 un competidor obtuvo medalla con una tabla varios kilos más livianas que el mínimo establecido en el reglamento. Aquella medalla ¿será un motivo de orgullo?

La clase PIRATA de Chile, la más antigua y activa de nuestro país, nos muestra un ejemplo en este tema: Existen dos tipos de botes Pirata que compiten en una categoría general: Los “Clásicos” que son Piratas más antiguos con cascos de madera y que deben usar mástil y botavara de madera. El segundo tipo de PIRATA son los que tienen mástil y botavara de aluminio y muchos aparejos de ajuste por ambas bandas. Estos pueden tener cascos de madera o de fibra.

Mástil y botavara de madera, en conjunto pesan más del doble que los mismos elementos en aluminio.

Esta sola diferencia de peso, hechos los cálculos aplicando la fórmula anterior, indican que en condiciones normales de mar en una bahía, navegar en un bote Clásico equivale a tener en proa un saco con arena de 30 kilos, que se desplaza intermitentemente 600 veces por hora desde la proa hasta la popa.

Hemos visto a los mejores navegantes en botes clásicos, con las mejores velas tratando de acercarse a los botes de punta, pero a la hora de la llegada a la meta siempre van a tener 6 ó 7 botes con mástil de aluminio delante de ellos.

26.- Plano antiabatimiento, abatimiento, deriva.

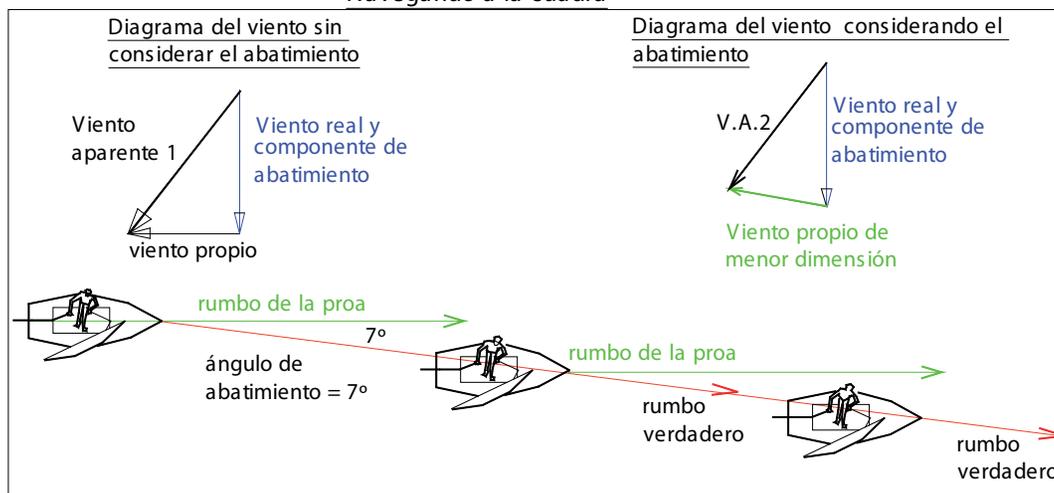
El **plano antiabatimiento** es la suma de todas las superficies o caras que una embarcación opone a la componente de la fuerza que provoca el desplazamiento lateral. Está constituido por la orza o quillote, parcialmente por los costados de la embarcación, y eventualmente por el timón.

Llamamos abatimiento al deslizamiento lateral o perpendicular al sentido del rumbo, provocado por el viento cuando actúa sobre la obra muerta de una embarcación. Una lancha con motor a la que el viento la ataca por la cuadra, abate más si viaja lentamente en vez de hacerlo con mucha velocidad. Es lógico, pues está más tiempo expuesto al viento, más tiempo para el mismo recorrido.

Si trato de cruzar un río en la dirección más corta, la corriente me traslada perpendicularmente al rumbo que deseo llevar. Si me demoro en cruzarlo 5 minutos, voy a llegar a un punto más cercano al punto donde apuntaba la proa al iniciar el cruce, que si me demoro diez minutos en el agua expuesto a la corriente. En este caso hablamos de deriva provocada por una corriente o flujo de agua.

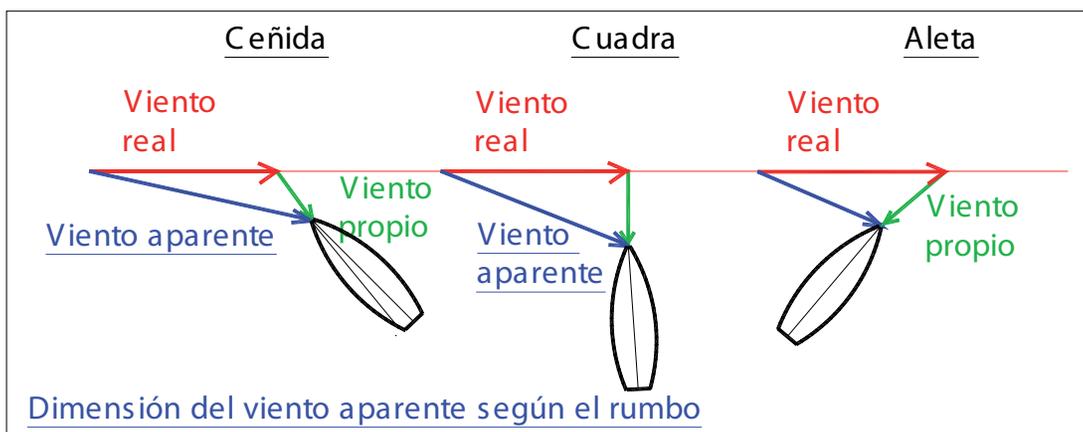
Navegando en rumbos cercanos a la cuadra el viento real actúa como la corriente del río. En el croquis siguiente se muestra como abate al bote hacia abajo.

Navegando a la cuadra

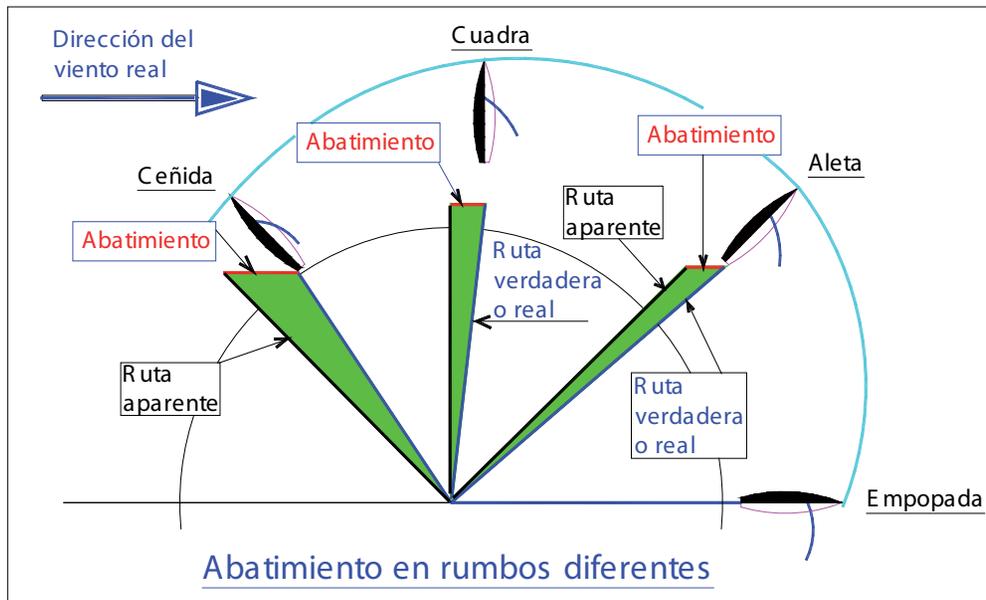


Navegando a la cuadra, la componente de la fuerza que provoca el abatimiento es el viento real que actúa perpendicularmente y en forma permanente sobre la obra muerta de la embarcación.

Para otros rumbos el abatimiento tiene dimensiones diferentes porque aun cuando el viento real es igual para cada rumbo, tal como está dibujado, el viento aparente es diferente para cada rumbo, como se ilustra:



El abatimiento es mayor en la ceñida, y menor en la aleta por la velocidad .



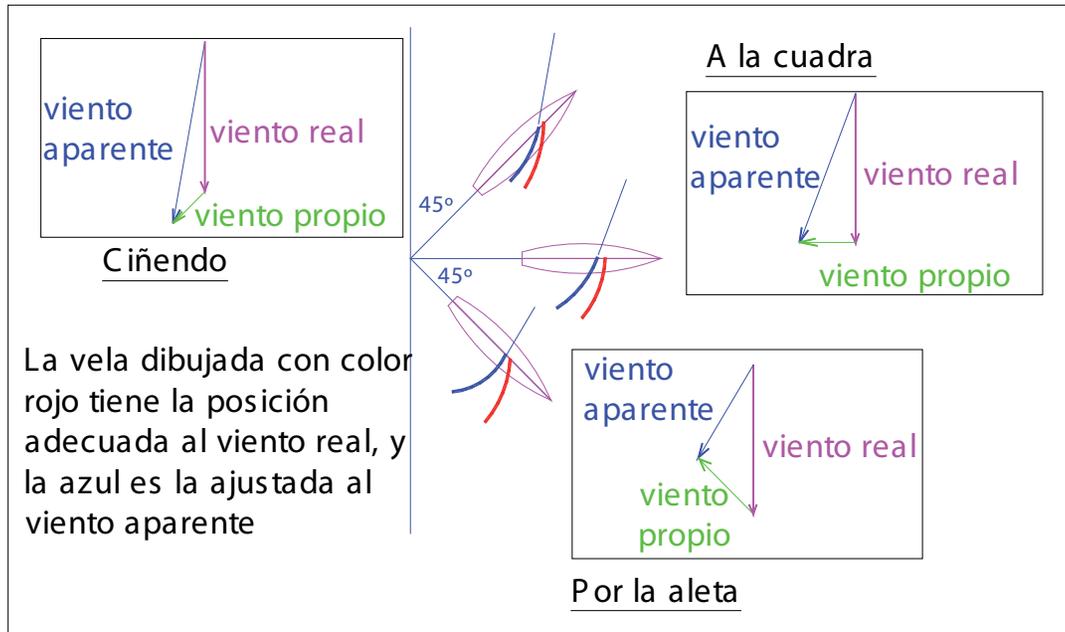
La orientación de la embarcación se mantiene, sin embargo la fuerza de abatimiento es siempre superior a la resistencia que opone el plan antideriva.

En el croquis podemos apreciar que el máximo abatimiento se produce en la ceñida y el menor en rumbos cercanos a la empopada. El viento real es permanente en sentido y en dimensión, sin embargo para cada rumbo el viento aparente cambia, debido a que el viento propio cambia por la variación de velocidad del bote para cada rumbo.

Normalmente cuando la navegación es en ceñida muy apretada con el fin de lograr mejor ángulo o ganar altura, la velocidad es menor en comparación a un rumbo menos cerrado, y el abatimiento aumenta. Es decir que estamos más tiempo expuestos a la acción del viento real que provoca el abatimiento. Quizás si se toma la opción de navegar en un rumbo más bajo, con un mayor ángulo, con más velocidad y por lo tanto con menos abatimiento se obtenga un mejor resultado, porque un excesivo ángulo de abatimiento puede provocar adicionalmente otros problemas en la obra viva del casco, especialmente en la orza. Además que una mayor velocidad nos permite “pinchar” una mayor altura con más velocidad cuando las condiciones son propicias.

En esto debe considerarse la acción del viento sobre el casco y la tripulación. La mayor superficie proyectada del casco en rumbo a la cuadra provoca mayor fuerza a favor del abatimiento que en una ceñida. La proyección de la tripulación no es despreciable y siempre favorece al abatimiento.

color



Los triángulos que acompañan cada rumbo determinan el viento aparente con el cual navega la embarcación y con el cual se orienta la vela.

Por diseño, la orza o el quillote tiene un ángulo en que la sustentación es máxima, y que está inmediatamente vecina a la pérdida de sustentación. Si el ángulo de abatimiento, que es igual al ángulo de incidencia del agua sobre la quilla, en el ángulo máximo, el quillote pasa a ser ineficiente como elemento antideriva porque se perdió la sustentación dando paso a las turbulencias.

Cuando un barco en movimiento se escora, la superficie proyectada de la orza y timón disminuye, y la del costado del casco aumenta sólo si los costados y el fondo tienen un ángulo, como los Optimist, Piratas o Lightning. Si el casco tiene fondo redondeado como un 470 o Laser o Flying Dutchman, la superficie antideriva no aumenta.

Por esta razón es que algunos navegantes han detectado que un Lightning navega mejor en rumbos “barloventados” con una pequeña escora. No me consta que eso sea efectivo, salvo cuando el viento es escaso.

Finalmente debo decir que este croquis fue hecho para velocidades de viento promedio de 10 nudos. Si este croquis se hace con velocidades menores, la componente de abatimiento, tiene un rango de diferencia entre la ceñida y la cuadra aun mayor.

Para este viento y en ceñida, el abatimiento en el sentido del viento real provoca una disminución del viento aparente de 0.6% aproximadamente, por cada grado de abatimiento. Es decir que si mi abatimiento es de 5 grados y deseo caer en dos grados más, la disminución del aparente será de 1,2%, pero en mi andar aumentará de 4 nudos a 4,24 nudos.

Los datos fueron extraídos del libro de Wallace Ross, Sail Power, para un barco determinado y no es una regla general exacta que pueda aplicarse a todos los veleros.

En la empopada, la componente perpendicular al rumbo es cero, luego el abatimiento se suma a la velocidad. En los otros rumbos interesa tener el menor abatimiento posible, el más cercano al rumbo verdadero, o sea el trazado en el fondo del mar o del lago, o sea el que se dibuja en la carta de navegación. Para obtener menos abatimiento es probable que tengamos que optar por rumbos más bajos con mayor velocidad. La opción óptima tiene relación con el tipo de quillote que la embarcación posee, y el peso de la embarcación.

Con orzas planas el exceso de abatimiento provoca mucho freno porque por sotavento de la orza sólo existirán turbulencias.

27.- Balsas derivadoras.

Llamamos deriva al movimiento que provocan las corrientes marinas o las olas que actúan sobre el casco de una embarcación. Un buen plano antiabatimiento nos asegura un máximo aprovechamiento de una corriente de agua que pasa por debajo del bote. Al revés, si el fondo de una embarcación es plano y la corriente (flujo) tiene gran velocidad, el agua pasa simplemente arrastrando levemente al casco.

Este principio es aprovechado por las balsas derivadoras que se emplean para cruzar un río aprovechando la corriente con quillotes movibles, o bien cambiando la posición del plano antideriva de la balsa respecto al flujo.

Nuestra embarcación claramente no es una balsa derivadora, sin embargo cuando navegamos expuesto a una extendida ola que nos lleva y nos trae, podemos aprovechar la lección, presentando un menor plan antideriva cuando la ola que arremete, y un mayor plano cuando viene la resaca, que es además el momento en que el aparente aumenta.

28.- Rumbo verdadero.

La ruta que trazamos sobre el agua siempre será un rumbo aparente si no sabemos el grado de abatimiento del rumbo que se lleva. La verdadera ruta se traza considerando el abatimiento y la deriva producida por las corrientes del agua. Rumbo verdadero es aquel que se traza en la carta una vez hechas las correcciones del abatimiento y deriva.

Todos los barcos son distintos, casco, quillote, motor o velas cambian de un modelo a otro. Cada uno debe saber el ángulo de abatimiento máximo para determinados rumbos y viento. Las corrientes normalmente son descritas en las cartas náuticas.

Cuando existen puntos de referencia es fácil determinar el grado de abatimiento. Consiste en tomar dos puntos que estén en línea con nuestro rumbo en un momento determinado. Tomando el tiempo o una distancia recorrida puede determinarse el abatimiento y la deriva.

Es normal que cuando estamos en medio de una regata se nos olvide que el abatimiento siempre existe, por eso es importante antes de la regata, determinar la posición de la botavara y la forma de la vela en que tendremos velocidad y poco abatimiento o el que nos resulte beneficioso de acuerdo a las características de nuestro bote para cada velocidad de viento.

Hoy suele usarse, y es cómodo trabajar con un GPS cuando se realizan largas navegaciones, pero....

29.- Anécdota de navegantes de G.P.S.

Hace poco recaló en nuestro Club, un yate con la tripulación en muy mal estado. Nos contaron que fueron sorprendidos por un pequeño temporal. El encargado de la derrota, en una convulsionada noche mientras realizaba una maniobra en la génoa, perdió el GPS que tenía colgando al cuello, cayendo al agua. Con la comodidad que da el GPS, no tuvieron la precaución de marcar la ruta sobre la carta y de repente dejaron de saber donde se encontraban, de noche en el medio del mar, o cerca de la costa y con temporal. La travesía para toda la tripulación dejó de ser grata.

Quizás, a pesar de que la situación no dejaba de ser preocupante, cuando la calma abandona al cerebro pensante, y dan paso a las “rabetas con espumarajos y zapateos cortitos”, aparecen fantasmas que sobredimensionan las dificultades. Es lo que sucedió con toda la tripulación y dio paso a las recriminaciones cruzadas que sobrepasaron la violencia que mostraba el mar. En esas condiciones el amanecer demora demasiado en aparecer.

El estrés agota, desgasta y mata más rápidamente que cualquier problema con el que se hubieran

encontrado. Si en esos momentos hubieran mantenido la calma, habrían gastado la energía pensante en resolver el problema y transformado el desafío en parte de lo interesante de la travesía, en algo entretenido y grato para recordar.

Cualquier dificultad con la que nos topamos a diario en nuestra vida, por grave que esta sea, puede ser resuelta en mejor forma si actuamos serenamente, con el apoyo de todos los sentidos, y sin la distracción de los gritos de los desesperados.

En una oportunidad me tocó presenciar el salvamento de una persona que gritaba y manoteaba con las pocas energías que le quedaban, y que aparentemente estaba siendo llevado por una corriente de agua. El hombre trataba de nadar en contra de la corriente, pero estaba desesperado, gritaba y tragaba agua al mismo tiempo. El salvavidas llegó pronto nadando hasta un par de metros de donde estaba el desafortunado, y con calma analizó la situación. Con sorpresa se dio cuenta que había fondo y pudo ponerse de pie.... ¡El agua le llegaba hasta la cintura.

El profesor Rudolf Bilz realizó el experimento que llamó “Experimento de la Esperanza”. Investigó los efectos del estrés en la muerte de ratas de campo recién capturadas. Llegaron a la conclusión que el estrés mata en pocos minutos a seres completamente sanos. Es el caso de las ratas que soltaron en un tambor con agua hasta la mitad y cronometraron el tiempo que demoraron en morir. Posteriormente, otras ratas fueron sometidas nuevamente al mismo experimento, o sea nuevamente dentro del tambor con agua, pero justo antes de que murieran, les suministraron una pequeña balsa con alimento. Al día siguiente nuevamente las metieron en el tambor con agua. En esta oportunidad, los animales soportaron más de diez veces el tiempo en que las primeras murieron por estrés. Diez veces más que los otros que no tuvieron la segunda oportunidad, nadando como campeones esperando la llegada de la balsa salvadora **¡Es el valor de la esperanza de ser salvados!**

En el caso de los humanos, animales más evolucionados, el estrés provoca un acelerado deterioro del sistema inmunológico que finalmente ocasiona la muerte. Estudios realizados con seres humanos, establecieron además, que salvar a un ser viviente de la causa que generaba el estrés reestablecía las defensas y que les permitía continuar con su ciclo normal de vida.

Frente a una tragedia colectiva, como en el hundimiento del Titanic, y otros de menor envergadura, como los problemas de la vida diaria, debemos tratar de conservar la calma y la mente clara, debemos tener la esperanza que vamos a ser salvados y que existen alternativas de solución a nuestros problemas.

Eliminando el estrés que provoca la desesperación, tendremos la oportunidad de seguir con vida, al menos el tiempo suficiente para contar lo ocurrido, o atesorar la experiencia para el bagaje de nuestra efímera existencia.

Sexta Parte

30.- Navegando

La tradición heredada de los navegantes y piratas de siglos pasados nos dice que la misión de un buen navegante es gobernar su barco con la mayor velocidad que permiten la seguridad y los elementos. Para nosotros en esta época, eso también vale. Sin embargo para ellos ese conocimiento era motivo de supervivencia frente al ataque enemigo, el éxito de una misión, o volver a sus hogares o guaridas. Hoy los piratas modernos usan motores a combustión. Pero cuando se acabe el petróleo o su precio sea prohibitivo o estratégico, la vela volverá por sus fueros.

Para nuestra generación de navegantes, la misión es saber gobernar bien, para ganar tranquilidad en un viaje de placer, sacar el máximo rendimiento al bote, para evitar escoras innecesarias, para ganar regatas o sobrevivir frente a inesperadas inclemencias del mar. Gobernar bien, provoca seguridad y un enorme placer.

Navegar, como hoy lo entendemos, es desplazarse sobre la superficie de grandes concentraciones de agua, a bordo de una embarcación impulsada por el viento en el rumbo que deseamos.

Los primeros marinos navegaron siguiendo el rumbo del viento, por lo que para emprender rumbos en otra dirección no quedaba más que esperar a que soplaran vientos favorables o usar remos.

Los antiguos habitantes de Grecia, como Ulises, debían encomendarse al Dios Zeus o a su hija Afrodita, la de los ojos de lechuza, y escapar de los odios de su tío Poseidón para contar con vientos y mares favorables.

Los que no contaban con el apoyo de poderes divinos, para tomar rumbos lejanos requerían de un acabado conocimiento de los vientos, tener mucho tiempo disponible y un avanzado grado de arrojo y locura.

Gracias a esos audaces marinos, que fueron avanzando en el arte de navegar, hoy podemos optar a navegaciones con apretados rumbos respecto al viento real

Gracias a los que aman la navegación, al mayor aporte en el conocimiento del comportamiento de los fluidos, y al descubrimiento de nuevos materiales, se ha podido llevar a cabo importantes eventos deportivos a vela, como la circunnavegación a través de los mares del mundo, la Copa América, sus derivaciones, y otras de similar importancia.

Gracias a los que se han atrevido a investigar y a publicar sus resultados, se ha podido avanzar en el arte de navegar. Es posible que algunos navegantes sepan mucho sobre el tema, pero al igual que un tesoro oculto, de poco nos sirve si esas experiencias no se transmiten a sus congéneres.

La tarea de investigar cuales son las mejores técnicas de navegación, así como los materiales y formas más adecuadas para aplicarlas a la fabricación de cascos y velas, felizmente no ha terminado.

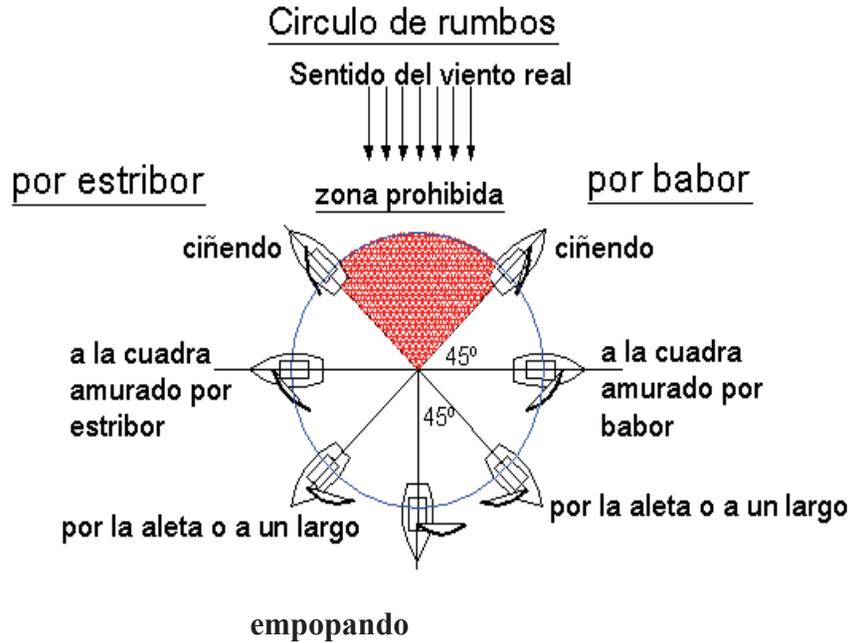
31.- Algunos términos náuticos que emplearemos.

Sólo para ponernos de acuerdo, en esta parte detallaré brevemente la denominación de los rumbos y definiciones más empleadas con las formas y fenómenos físicos de las velas:

31.1.- Circulo de rumbos

La zona marcada con rojo, que he llamado zona prohibida, es aquella en que los veleros normales no pueden navegar por estar cercana a contra del viento. Existen veleros acondicionados para navegar en rumbos menores de 45° respecto al viento real.

Se entiende que el viento accede verticalmente.



31.2.- Profundidad de las velas.

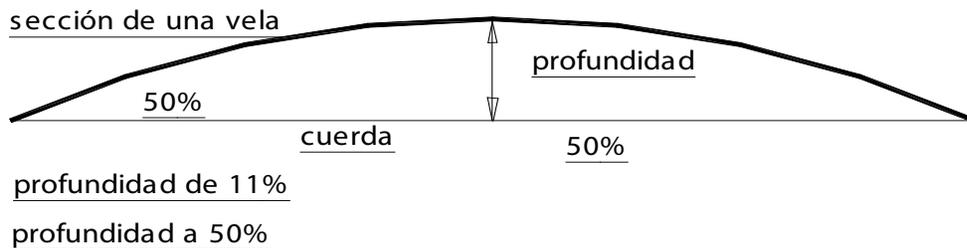
La profundidad es la mayor distancia medida entre la cuerda y la vela en una sección determinada, expresada en porcentaje respecto a la dimensión de la cuerda.

En nuestras velas triangulares la profundidad y la longitud de la cuerda varían en el alto de la vela, por lo que es necesario relacionarla con el largo de la cuerda. Cuando hablamos de profundidad nos referimos a la relación entre la profundidad de una sección o perfil y la cuerda de esa sección de la vela expresada en porcentaje.

Si la cuerda de una sección de la vela tiene un largo de 3 metros y la mayor profundidad en esa sección es de 33 cm, entonces decimos que la **profundidad es de:**

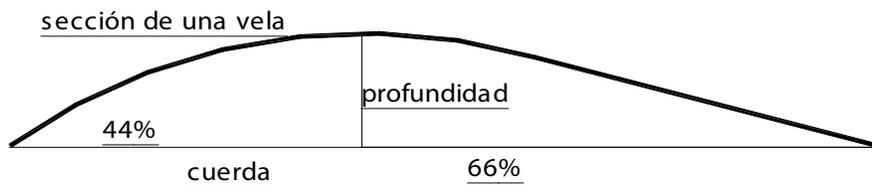
$$33 : 300 = 0,11 \text{ o sea } 11\%$$

Si expresamos que una vela tiene 11% de profundidad, estamos asumiendo que esa profundidad es en todo el alto de la vela



31.3.- Posición de la máxima profundidad en una vela

Es la posición de la máxima profundidad de una sección o perfil de una vela respecto al punto de ataque del viento o parte delantera de una vela medida sobre la cuerda, y expresado en porcentaje.



profundidad de 14%

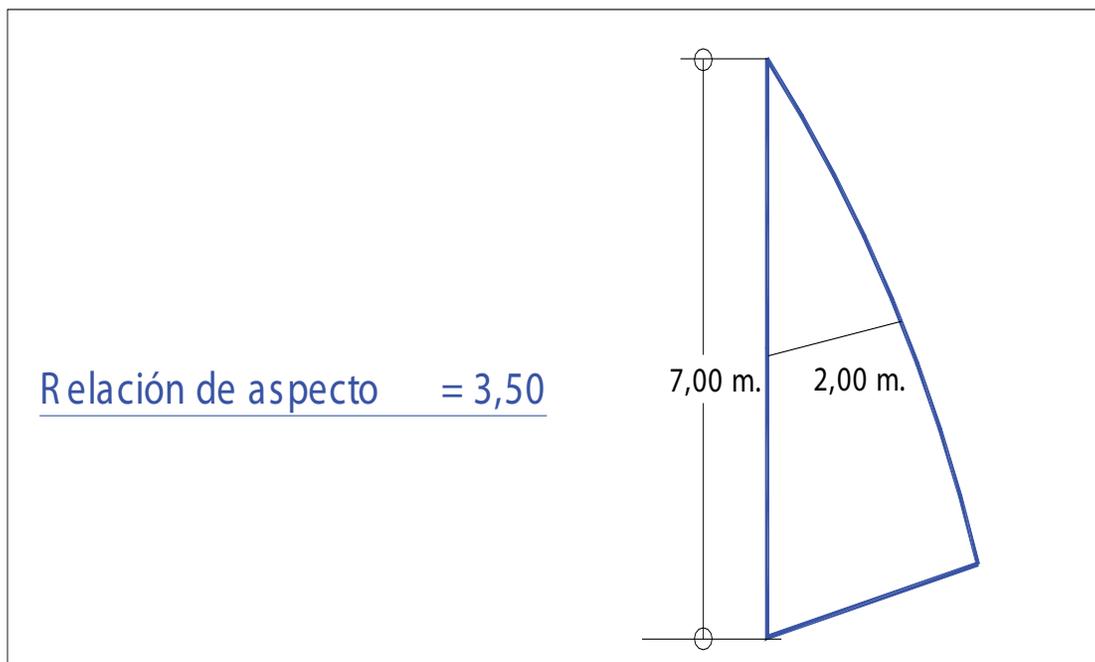
○ profundidad de 14% a 44%

profundidad a 44%

Si decimos que una vela tiene una profundidad de 14% al 44%, queremos decir que esa forma y posición se mantiene en todo el alto de la vela, cosa que naturalmente en nuestras flexibles velas es muy difícil que suceda.

31.4.- Aspecto de una vela

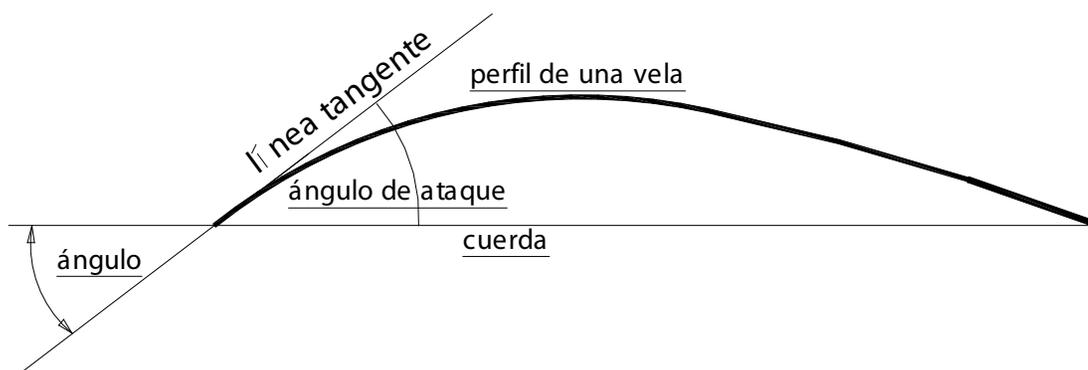
En una vela triangular es la relación entre el alto y el largo de la cuerda media de una vela y se expresa como cociente entre las medidas. Por ejemplo, el término: **relación de aspecto 3,50** indica sólo el aspecto y no medidas.



Relación de aspecto = 3,50

31.5.- Angulo de ataque

Es el ángulo formado por la cuerda y una línea tangente a la curvatura del gratil de una vela. La tarea de la tripulación, para un rumbo determinado, es ajustar el foque y la mayor para que la incidencia del viento coincida con la línea tangente indicada en el croquis (trimado), y la tarea del timonel es mantener el rumbo de modo que la incidencia del viento se mantenga en esa posición. Existen pequeñas e importantes variaciones que veremos más adelante.



Las velas triangulares que normalmente empleamos, por definición tienen cuerda variable a medida que subimos.

31.6.- Angulo de incidencia del flujo.

Es la orientación con la que el viento llega a una vela, respecto a la línea tangente del inicio de la curvatura del gratil de una vela. Cuando la dirección del viento coincide con la línea tangente la incidencia es de cero grados. Por lo tanto, es un término diferente a ángulo de ataque. Por ejemplo, cuando navegamos empopados, la vela tiene un ángulo de ataque y el ángulo de incidencia del viento es cercano a la perpendicular a la cuerda.

Mientras navegamos, el viento aparente acomete con distinta velocidad y ángulo de incidencia en cada paño de la vela.

En la aeronavegación el ángulo de incidencia se relaciona a la cuerda del perfil.

31.7.- Angulo del borde de fuga

Es el ángulo que forma la cuerda con la vela en la baluma.

31.8.- Sustentación Fuerza que eventualmente produce el viento cuando se desliza por la cara curvada de sotavento de una vela. Normalmente tiene una dirección perpendicular a la superficie de la zona en que se produce.

31.9 Fuerza de acción directa. La que ejerce el viento por barlovento de una vela u objeto.

31.10.- Alzamiento. Es la suma de fuerzas o resultante de la acción directa del viento más el aporte de la sustentación por sotavento de un perfil curvado como una vela.

31.11.- Arrastre. Es la fuerza que ejerce el viento en la dirección y sentido del flujo libre. En general es el freno que produce un fluido cuando un móvil se mueve o se desplaza inserto en él. Un casco de un bote que se desplaza en el agua debe vencer un arrastre que el agua opone al movimiento.

31.12.- Capa límite. Es aquella delgada capa de fluido, agua o aire, adherido a la superficie de cualquier cuerpo sólido o líquido en estado de reposo o en movimiento.

31.13.- Separación o desprendimiento. Es aquella situación que se produce en la capa límite de un fluido cuando se desprende del cuerpo en la que se encuentra, y es reemplazada por otra sub-capa límite, provocando flujos adversos y mucha turbulencia.

En nuestras embarcaciones, las turbulencias son sinónimas de freno.

32.- Navegación por la popa o empopada, popa pura.

Cualquier objeto flotante que recibe la acción de una fuerza (viento) tiende a moverse en el sentido de la fuerza aplicada.

Si se trata de un velero en el agua podríamos agregar, que se desplazará preferentemente en el sentido que permite el plano del quillote.

En la navegación por la popa, de acuerdo a la denominación que se hace en el círculo de rumbos, el quillote u orza está orientada longitudinalmente en el sentido del viento, y la vela está en posición perpendicular o normal al rumbo del viento, para captar el máximo de energía del viento franco.

En esta navegación es importantísimo mantener el rumbo, que sólo permite pequeñas variaciones para mantener la velocidad, y para conservar la integridad de la tripulación. Cuando el viento y mar son grandes el riesgo de una trasluchada (cambio de banda de la botavara no deseada) puede llegar a ser realmente peligrosa. Una buena medida es compartir la responsabilidad de la manutención del rumbo y la seguridad, con la tripulación o un tripulante como colaborador del timonel.

Levantando globo o spinnaker, este peligro no pasa a ser secundario. Cada ola en un momento nos provoca una enorme aceleración. Si en ese momento el bote presenta un grado de escora, y hace trabajar a una de las amuras, fácilmente puede terminar atravesado y arrollado por las olas. Ahora se suma la preocupación de evitar el broaching, es decir que el globo vaya más allá de la posición deseada hacia sotavento y tienda a volcar la embarcación.



En la empopada el rumbo no sólo depende del timón, porque la forma de la proa, la capacidad de flotabilidad de esa zona y la escora hacen trabajar a las amuras como el mejor de los timones. Con mayor velocidad se manifiesta otro efecto atribuido a la forma y a la acción del quillote, que como sabemos, siempre actúa como un ala de avión. Con mayor velocidad y eventualmente con un mayor ángulo de ataque, genera un alzamiento que termina con el volcamiento de la embarcación aun en aguas planas.

Más que en ningún otro rumbo, la eslora del bote y su calado son características que diferencian el comportamiento de la carena de cada bote con el largo de onda y altura de las olas.

Pocos capitanes optan por popas francas porque no es el rumbo en que las embarcaciones adquieren la mayor velocidad, sin embargo aquellas que tienen sólo una vela y que son livianas normalmente utilizan este rumbo.

La navegación por la popa o con viento franco es la que requiere mayor concentración y técnica, para hacer la diferencia de velocidad con otras embarcaciones similares, y por las trágicas consecuencias que puede tener sobre integridad de la tripulación y del bote.

En la primera parte de estos apuntes hablamos de las olas y del efecto que ellas tienen en la navegación. Las olas son un importante freno en la ceñida, por la energía que tienen y porque nos cambian el aparente. En la empopada, podemos aprovechar esa energía para tomar mayor velocidad.

En este rumbo debe considerarse las condiciones del viento y del mar. Con mucho viento lo más importante es mantener el tope del mástil dentro de la cubierta. Dicho de otra forma, lo importante es mantener la quilla bajo la superficie de las velas.

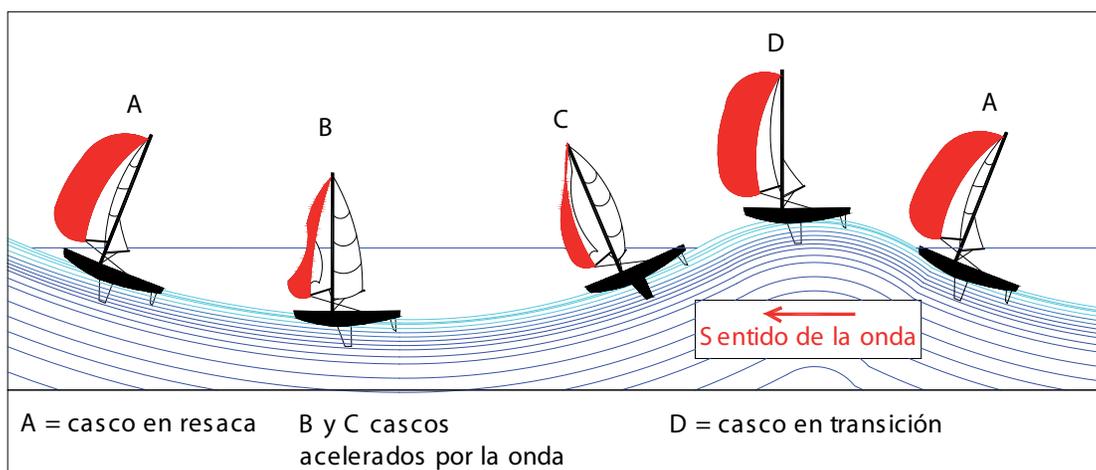
Las olas siempre viajan más rápido que una embarcación normal empopando a menos que entre en planeo. Si el rumbo obligado es la empopada, la concentración de la tripulación debe dividirse entre la proa y la popa. Por la proa debe negociar cada bajada y tomar las olas en rumbo adecuado para evitar la tendencia a orzar que las amuras le imprimen cuando nos levantan de la popa y viene la aceleración y no estamos con el casco plano. Por la popa prevenir las olas que vienen alcanzándonos con ganas de reventar bañando toda la cubierta. Las escotillas y todo lo que permita el acceso del agua debe cerrarse.



En embarcaciones menores o de más ágil respuesta a los comandos, y que navegan en este rumbo las escotas siempre van en la mano, o en la reducción, tal como puede apreciarse en la foto anterior, o en posición de ser lascadas y tesadas con facilidad para mantener la velocidad constante. Con viento fuerte el efecto disminuye, pero el riesgo aumenta.

Las olas tienen un movimiento que nos acelera cuando nos levanta la popa y otro que nos frena apenas baja la popa. La llamamos resaca de la ola. El efecto del viento aparente en las velas es diferente en cada momento.

Cuando viene la aceleración, si el ángulo de cazado o el rumbo no se modifica, y el viento es escaso, el globo quedará enredado en el mástil, desventado, y se inflará nuevamente con la resaca.



En el bote A el viento aparente aumenta y se inflan las velas.

En B y C, con poco viento las velas de un golpe se inflan al revés por la resaca.

El bote D se encuentra en la zona de transición o sea en la que la onda no lo acelera ni la retrasa. El escaso viento nuevamente infla las velas.

Cada bote reacciona en forma diferente frente a la embestida de una ola por la popa, por lo que las reglas que pueden darse son sólo generales y referenciales.

Personalmente siempre varío ligeramente el rumbo para aprovechar la mayor velocidad que me imprime la ola, que es el momento en que se desinflan las velas, orzando y recuperando escotas, para soltarlas cuando viene el frenazo de la ola y aumenta de un golpe el viento aparente.

Empopando, con cualquier tipo de viento, se requiere de potencia en la proa, velocidad y equilibrio de las velas. No es recomendable achicar paño para tener con qué defenderse. Cuando aumenta el viento, nuestro bote se convierte en una gran masa en movimiento sin la posibilidad de frenar y con escasas posibilidades de evitar un cambio de rumbo por un brusco aumento de la escora.

Nada es más terrible que navegar en un mar formado y enorme sin posibilidad de maniobra por falta de potencia. Nunca falta la serie de enormes olas que precipitan un desenlace poco feliz. Camilo y Chantal, dos grandes amigos navegantes que hoy se encuentran en Tahiti nos contaban que cuando el mar se ponía demasiado violento y con mucho viento, abandonaban la empopada y preferían armarse de paciencia cambiando a rumbo parecido a una ceñida afirmando la posición sólo con un tormentín, abatiendo una enormidad. De esa forma esperaban que las condiciones cambiaran. Ellos vivían sin apuro.

El riesgo de una involuntaria trasluchada aumenta con el aumento del viento y el tamaño de las olas.

Las causas por la que puede producirse una trasluchada son:

En primer lugar el descuido del timonel, que nunca debe perder el rumbo, mirar los catavientos y la dirección de la ola.

En segundo lugar, los repentinos cambios de rumbo del viento, por rachas o por viento sucio al atravesar un obstáculo importante,

Tercero, la acción de las amuras por enfrentar una bajada de ola con escora. Famosos y experimentados navegantes de grandes veleros se accidentaron o desaparecieron de la cubierta por golpes de la botavara. Bien vale la pena tenerlo en consideración.

Cuarto, anticiparse a la acción de la orza que actúa como ala de avión generando un alzamiento que puede terminar sólo cuando la orza emerge.

Empopando, normalmente tendremos la ola a nuestro favor, lo que es beneficioso para nuestra velocidad, pero tiende a proporcionarnos cabeceo longitudinal y transversal afectando la posición horizontal. **¡Cuidado timonel!** Porque, repito, las amuras pueden convertirse en el mejor de los timones y nos puede modificar el rumbo violentamente.

El broaching se produce por una orzada no deseada del bote. Ocurre por el efecto amuras o en el momento en que bajando una ola la proa se mete en la siguiente provocándose un frenazo del casco, pero las velas siguen trabajando. El aparente se acerca al viento real.

Es responsabilidad de toda la tripulación llevar absolutamente plano el bote, y atentos para evitar que la proa se “vaya por ojo” sobre todo cuando en el mar se provocan grandes depresiones, verdaderos hoyos, a veces propicios para tomar más velocidad. El globo puede ayudar a levantar la proa. Las escotas libres para el nuevo aparente.

La proa debe tener máxima flotabilidad, eliminando pesos al interior del bote y concentrándolos en la zona del centro de giro cerca de la orza o quillote.

Al aumentar el peso en la popa se logra mejor control en el rumbo empopado, pero se pierde velocidad y se acentúa el efecto “ala de avión” del quillote. Para mejorar la velocidad en este rumbo debe buscarse la distribución del peso de modo de no arrastrar agua por la popa.



Navegando empopado en laser con viento fuerte, llevamos el boomvang cazado con mucha tensión para cerrar la baluma, la vela con bolsa para la estabilidad del rumbo, evitando el vaivén, y para que se oponga mejor a la presión del viento. El cunningham sólo lo usamos para quitar arrugas y para disminuir la pala del timón a sotavento, la orza levantada levemente, el bote plano para que la orza no tome alzamiento, la posición del tripulante más a popa.

Mientras más metida va la orza en un Laser, más timón a sotavento y más freno. Teóricamente sin orza el timón debería trabajar menos, pero es difícil navegar empopado con viento fuerte sin orza y con el aporte de una sola vela.

En este rumbo el twist provoca inestabilidad y ayuda al movimiento de vaivén, que casi siempre termina con el mástil en el agua.

Con menos viento se puede optar a buscar la incidencia del viento por la baluma, tal como se explicará a más adelante.



Para lograr aumentar la velocidad con poco viento en la empopada franca, debe recurrirse a luchar contra el mayor arrastre o freno. Uno de los recursos es disminuir la superficie de contacto del agua para evitar el freno por roce y buscar el viento a mayor altura, tal como muestran las fotos.



En una regata con flota numerosa debe buscarse el viento limpio. Los postergados deben tratar que los que van más adelante no lo tengan. Entre los botes se producen turbulencias y eventualmente canales de mayor viento que un buen timonel debe captar para provecho de la velocidad.



Los botes de clase, monotipos, tienen en el mayor de los casos orzas que son abatibles. Normalmente para disminuir el roce del agua que frena y poder aumentar la velocidad en la empopada, es levantada. Esto es beneficioso sólo en el caso de navegar en aguas planas, porque en las agitadas el cabeceo destruye cualquier proyecto de forma de vela y perderemos la velocidad que podríamos haber ganado con levantar la orza.

Una forma práctica para determinar aproximadamente cuanto nos frena una orza por presión directa, consiste en tomar una tubería de un largo que permita introducirla en el agua hasta la profundidad de la orza, de $1/3$ del mayor espesor de la orza, verticalmente en el agua. La medida no es exacta pero da una idea bastante aproximada. Esto es aplicable además para el timón.

Ahora si por motivos de mal equilibrio de fuerzas durante la empopada debe corregirse el rumbo con el timón, la barra que debe escoger para conocer el freno del timón, ya no es de $1/3$ del espesor de la pala del timón, sino que es del espesor de la proyección del timón, o sea una barra mucho más ancha.

Percibirá en forma práctica la fuerza negativa que desarrollan estos elementos de la obra viva, y como aumenta esta fuerza cuando por equilibrio el timón debe trabajar con algunos grados de diferencia respecto al rumbo real.

Al levantar la orza, empopando en un mar plano, podemos abatir con facilidad, lo que mejora la posibilidad de mantener la posición del casco y de la vela respecto a la incidencia del viento, y con menos freno del timón.

Particularmente sólo escondo la orza, o la saco si es en un Laser en una empopada cuando el mar está plano, el viento escaso. En estas condiciones puedo escorar el bote para llevar la mayor superficie de la vela mayor hacia el viento que pasa por arriba, que siempre es más rápido que el que tenemos a un metro de altura, y disminuimos la superficie mojada, tal como nos muestra este gran campeón olímpico de Brasil



Quando el viento es poco, la diferencia de velocidad en los primeros diez metros de altura se hace mayor que cuando sopla más fuerte. Se ha podido determinar en la costa variaciones de velocidad como la siguiente:

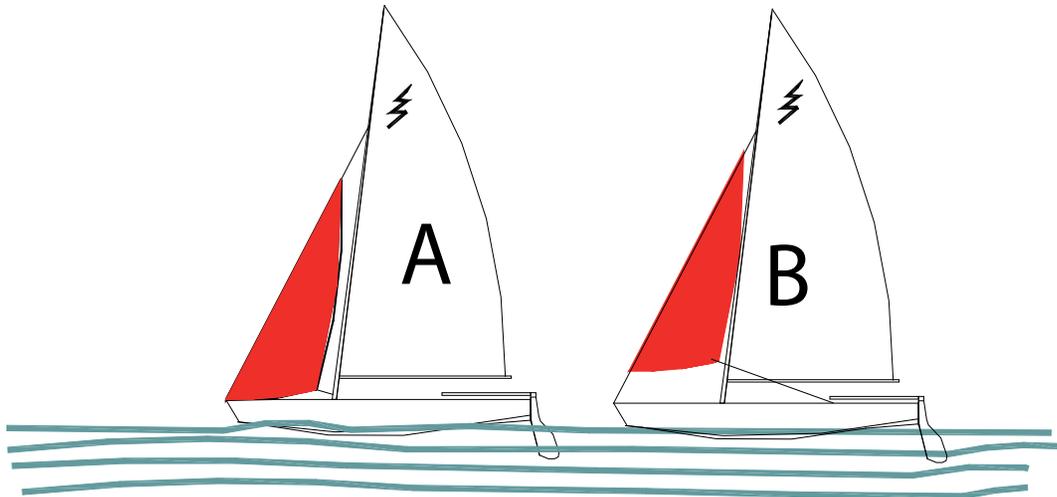
(Los valores son aproximados y han sido redondeados, pero reales)

Altura en metros = 1 2 3 5 7 10

Velocidad en m/seg = 2 2,30 2,60 3 3,20 3.80

A menos de 1 metro, el viento es turbulento y es difícil determinar su velocidad. A mayor altura se ve menos afectado por el rozamiento con el agua o el suelo y sobre 20 metros la velocidad tiende a variar menos.

Navegando a la cuadra es fácil determinar el efecto de esta diferencia de viento: Si navega en un Lightning, suba el foque hasta que el puño de driza tope con el mástil. En esa posición usted verá que el equilibrio cambia radicalmente. En el croquis, el bote **B** comienza a caer a sotavento y verá que para mantener el rumbo es necesario meter caña a sotavento. No he visto que esta ventaja se use en las popas, sin globo, pero habría que averiguarlo con la ayuda de un partner.



En la mayoría de los veleros pequeños la botavara no se puede llevar hasta la cuadra, porque topan con los obenques, por lo que para mantener al viento atacando por el gratil de la vela, se debe variar ligeramente el rumbo, lo cual bien administrado puede resultar beneficioso. Un buen regatista podrá confirmar lo que digo.

Si por otras razones debe mantenerse en un rumbo en que las lanas indican que el viento o flujo de aire (catavientos) va en sentido opuesto, o sea de la baluma al gratil, la posición del foque y la tensión de la baluma del foque y la concentración del timonel juegan un papel muy importante en la captación de la energía del viento y en evitar una trasluchada.

El capitán o quien esté a cargo del timón debe mantener el rumbo en la posición adecuada observando permanentemente la entrada y salida del aire valiéndose de lanas pegadas a la vela como catavientos, tanto de la baluma como cercanos al gratil, o de cualquier otro sistema.

Para lograr la forma embolsada en la mayor, y la baluma cerrada, debe tensar al máximo el boomvang o vang de la botavara. Para darle bolsa al foque, debe emplearse un tangón que cargue hacia abajo para tensar la baluma, y fijar esa posición con las escotas. En esta posición la baluma debe quedar recta y tensa para que reemplace el trabajo del gratil. El flujo de aire, entonces, debe entrar por la baluma para generar un ordenamiento del flujo de sotavento de la mayor en busca de sustentación. Vale para botes de clase.

En esta navegación llamada By the Lee el riesgo de la trasluchada aumenta.

Para lograr mayor potencia, velocidad y estabilidad en el rumbo en la empopada, la forma de la vela debe ser más profunda que plana. Una vela más “cóncava” es entre 10 y 15 % más eficiente que una vela plana para oponerse al viento, que es lo que deseamos. He escuchado opiniones que prefieren mayor superficie, por lo que estiran al máximo la vela. Pero al lado de los experimentos de laboratorio que indican valores como los mencionados, y las experiencias en el agua, esa opinión no tiene fundamento, y menos cuando se navega con olas y con vientos cambiantes o arrachados. Estirar al máximo la vela es un consejo apropiado siempre que la vela tenga la posibilidad de mantener una forma cóncava con profundidad, y un timonel muy atento.

“El timonel nunca debe distraerse ni perder el rumbo“. Podríamos agregar que en la vida diaria ocurre lo mismo, porque se puede perder algo más que la cabeza.

32.2.- Corrigiendo el rumbo

Empopando con foque y mayor, la vela mayor tiene más potencia que un foque, por lo que el centro de presión o empuje total está más cargado hacia el costado de la vela mayor. Esto provoca un momento o giro que tiende a modificar el rumbo, lo que nos obliga a corregir con la caña o timón, con el consiguiente aumento de freno en nuestro andar.

Este mal se puede atenuar con las siguientes maniobras:

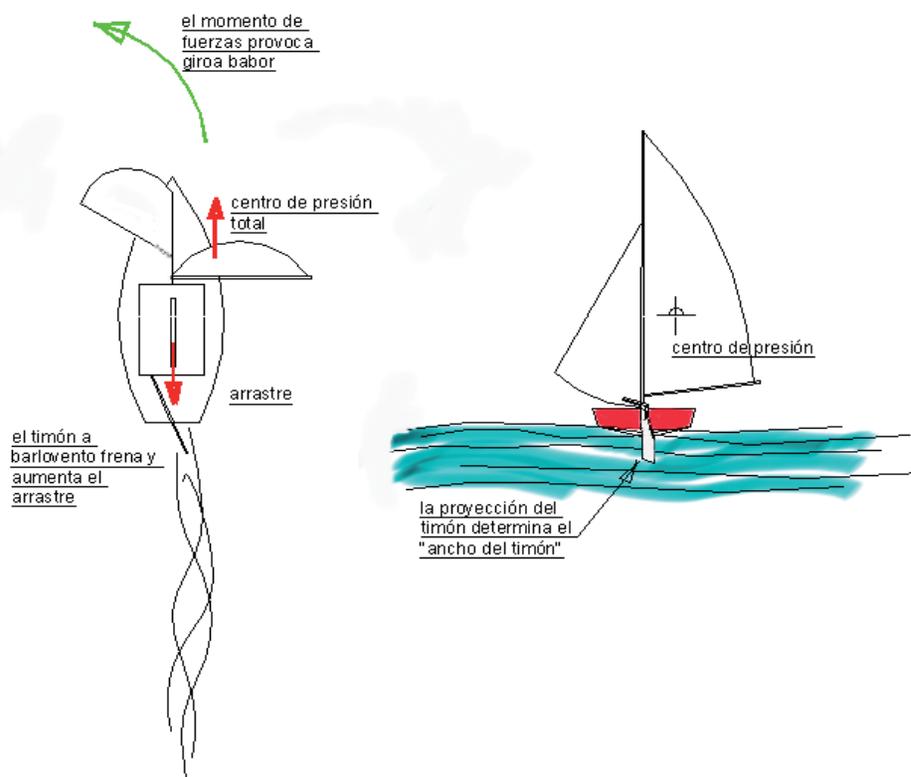
1.- Izando globo o spinnaker. Podemos equilibrar las fuerzas y anular el timón o caña a barlovento.

2.- Si no tenemos globo, abriendo el foque en “oreja de burro”

3.- Reemplazando el foque por una genoa de mayor tamaño.

4.- Llevar la máxima profundidad de la vela hacia el mástil con mayor tensión en el cunningham.

5.- Si el viento es menor a 10 nudos, o el andar es cercano a 3 nudos o menos, escorando el barco hacia barlovento, o sea levantando la botavara, de modo que el centro total de empuje se acerque a la crujía al nivel de fondo del casco. Para determinar cuanto es la escora necesaria, ya que también entra en función el efecto amura, que se suma al desconocido efecto de la sustentación que se genera en la aleta del casco, el instrumento más preciso es el timón que vuelve a la posición normal, **pues de eso se trata, de evitar el aumento del arrastre, disminuyendo la proyección del timón en el sentido del movimiento**, que es lo que nos frena, básicamente por forma, por rozamiento y por inducción.



Al inclinar el casco entra en función la amura del costado opuesto a la posición de la botavara, que de acuerdo a la forma que tenga influenciará el rumbo como verdadero timón. Llevar el peso más atrás elimina parcialmente el efecto, pero hasta el límite que el espejo de la popa no arrastre agua.

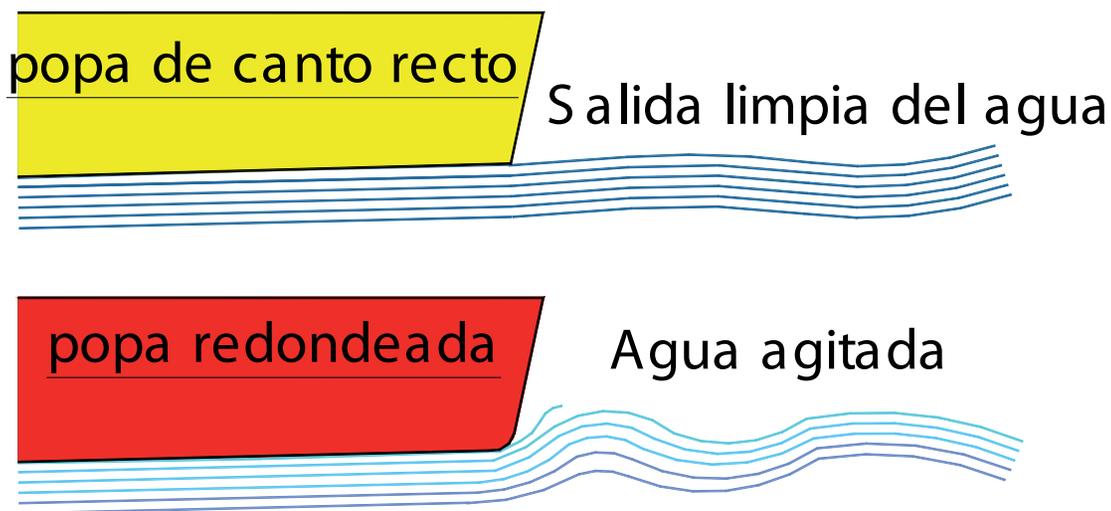
Si el viento es muy fuerte, y por lo tanto obtenemos mucha velocidad en el bote, la tarea es mantener el bote plano evitando las escoras que permitan evitar la acción de una sola amura.

Levantar media orza ayuda a restar potencia **al efecto ala de avión**, pero si la velocidad es mucha, la orza se necesita para controlar el rumbo. La tendencia de la orza a salir del agua va a seguir siendo una amenaza de posible volcamiento.

Los botes grandes tienen la ventaja del contrapeso del quillote, pero aun así la envergadura excesiva puede provocar tal efecto.

La posición de la tripulación en la empopada con poco viento debe ser tal que la popa no arrastre agua. Es normal ver a los tripulantes sentados a popa para dominar el escenario y evitar sorpresas con la botavara. Están haciendo un flaco favor a la mayor velocidad y generando un fuerte freno.

Con la popa sumergida, el agua que abandona el casco se agita frenéticamente en remolinos. La energía para batir el agua sale de la única fuente de energía que se dispone a bordo: la que es captada por las velas. **Estamos gastando energía en agitar el agua en vez de gastarla en mayor velocidad.** Navegando empopado, y en cualquier rumbo, el agua debe salir lo más limpiamente posible, como se indica en el croquis siguiente:



El nivel longitudinal de la embarcación debe permitir que el espejo o la popa bese suavemente el agua para evitar arrastrar agua, y en el otro extremo, que la proa esté demasiado baja o metida en el agua, generando freno adicional por forma.

Podemos aprovechar el croquis anterior para destacar un pequeño e importante detalle del filo que el espejo de popa debe tener con el fondo de la embarcación. Este debe ser perfectamente afilado para permitir una salida limpia, porque si es redondeado como se indica en el croquis, el agua tiende a seguir la curvatura por adherencia, gastando energía captada por las velas en elevar agua, creando una nueva fuente de freno.

Un atento capitán debe escuchar el ruido que provoca el agua al abandonar la popa de la embarcación como una alarma de la mala estiba. Se debe corregir este mal trasladando el peso hacia la proa. Sin embargo el exceso de peso en la proa, aparte de contribuir al nefasto cabeceo provoca problemas similares de freno por forma.

La posición de la tripulación es importante para la velocidad del bote en cualquier rumbo más aun cuando se trata de fondos aplanados o rectos.

Los cascos de fondo recto con vientos fuertes, son más veloces que los curvados, porque entran antes en planeo pero menos marineros. Este término se aplica a aquellas embarcaciones gratas de navegar, que oscilan suavemente con las deformaciones de la superficie del agua en que navegamos. Un casco plano, como las lanchas de velocidad, golpean permanentemente mientras se desplazan.

32.3.-La empopada en yates grandes.

He querido hacer esta diferenciación, porque en estos grandes yates la inercia juega un importante papel, y además porque en un yate de muchos tripulantes en regata, las funciones deben ser atendidas según la responsabilidad asignada, permitiendo al timonel hacerse cargo en directo contacto con el trimmer, de mantener el rumbo a la mayor velocidad.

La responsabilidad del trimmer de la mayor y del spinnaker es dar la forma y el trimado justo para que desarrollen la máxima potencia de acuerdo a las condiciones del mar, en acuerdo con el rumbo que el timonel desee tomar.

El táctico puede ordenar un cambio de rumbo al timonel, el que a su vez ordena al trimmer ajustar las velas para el nuevo rumbo.

Los mejores timoneles son aquellos que son capaces de sentir el bote como una parte más de su cuerpo. Aquellos que son capaces de sentir los pequeños cambios de escora, los cambios de aceleración y de escora, los cambios de rumbo o intensidad del viento, aquellos que hacen funcionar todos sus sentidos. Para ellos los instrumentos deben ser sólo elementos de apoyo y no depender completamente de ellos. A veces los instrumentos fallan.

La función del timonel es muy importante porque es quien siente la presión del timón, y por lo tanto del mayor freno que este apéndice genera. Debe informar al trimmer de la situación para que corrija la posición de la tripulación o la posición y forma de las velas para equilibrar el bote. En la empopada franca y sin olas el timón no debe trabajar o hacerlo sólo por necesidades de cambio de rumbo.

Si por exceso de presión del viento se presenta con fuerza el timón a sotavento, o sea cuando tiende a orzar, será el timonel el encargado de dar las voces de alarma para corregir el trimado. De inmediato el trimmer debe despotenciar el aparejo partiendo por los bordes de salida de las velas, quitando profundidad abriendo las balumas o reubicando a la tripulación.

Cuando el viento es escaso, el tangón va más bajo, casi en la misma posición que cuando se navega a la cuadra con viento fuerte. Con viento fuerte más arribado, el tangón va en la posición más alta.

Los expertos nos transmiten que los puños del globo deben estar a la misma altura. Ahora que sabemos que lo más importante es crear flujos armónicos para generar sustentación, los puños deben estar ubicados según la forma del canal que forma con la mayor. Pero para no discutir con los expertos, diré que los puños a la misma altura es un buen punto de partida del ajuste, para lograr la mejor velocidad.



La posición del puño de escota del globo es regulado horizontalmente por la escota y verticalmente por los Pi. Si el puño se eleva da más salida al viento, el globo se aplana y genera menos freno o arrastre y menos escora. Por el contrario, si el puño baja, la baluma se cierra y provoca los efectos contrarios.

La foto anterior muestra un ajuste entre velas que generan un flujo armónico y generación de sustentación por sotavento de todas ellas.

En la empopada, que nunca debe ser franca en estos veleros, la posición del timonel debe ser la más cómoda para accionar el timón que en este rumbo trabaja más que en una ceñida. Si tiene un timón con rueda, debe ubicarse parado en el centro, pero si usa caña debe sentarse preferentemente en el costado de barlovento. Si tiene dos ruedas de timón se debe usar la de barlovento. Esta posición tiene que ver con la mejor visión de todas las velas que están trabajando, la visión de las olas, de los catavientos, de la lectura de los instrumentos y de la posición respecto a otros botes que navegan muy cerca.

Claramente, con tanta preocupación, debe ceder algunas responsabilidades a otros tripulantes y dedicarse preferentemente a lo más importante, y jamás dedicarse a mirar hacia atrás descuidando el rumbo.

Para navegar en estos rumbos portantes, cuando se conoce el VMG del bote, los instrumentos que más se emplean son los que indican la velocidad del viento aparente, el rumbo del viento real y la velocidad del bote (Boatspeed) complementado con los catavientos del tope del mástil y las lanas (Telltale) emplazados en obenques y en el estay de popa. Un tripulante debe encargarse de las lecturas y transmitir las.

Cuando la navegación es de noche el cataviento del tope del mástil pasa a ser el más importante apoyo, junto con las lanas de velas y de obenques.

Para hacer el mejor VMG en una ceñida el rumbo puede variar respecto al aparente de 26 a 32 grados, o sea en un rango de 6 grados. En rumbos portantes, el mejor VMG tiene un rango cercano a los 25 grados. El trabajo del timonel y de la tripulación será obtener el mejor VMG hacia el rumbo que más se acerque al objetivo o boya en una regata.

color

Cuando el viento es poco la tendencia es navegar más abierto que hacia la popa franca, o sea cercano a los 45 grados respecto al rumbo de viento real, privilegiando la velocidad.



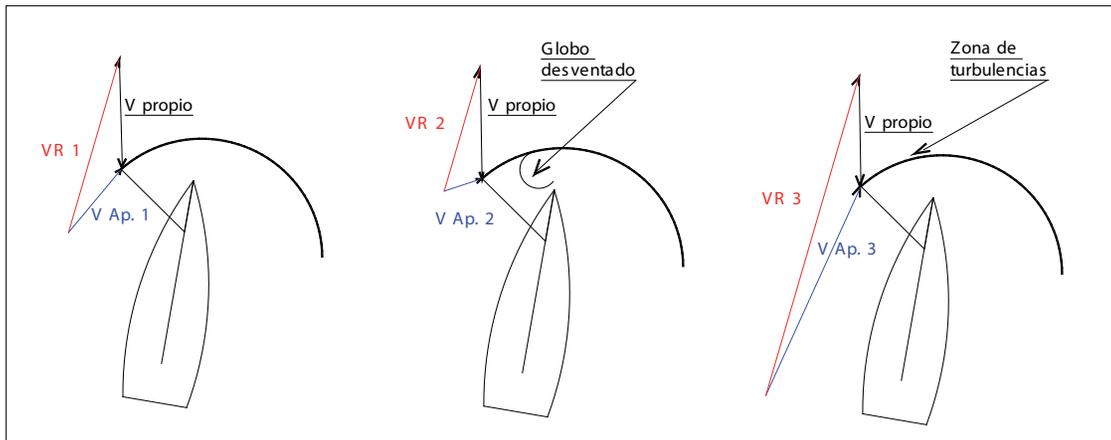
Valdivianos, expertos navegantes, navegando en el Pirata “Berlin”.

A medida que el viento aumenta aparece una nueva variable que es la escora que incide en el equilibrio del bote y que debería ser corregida con el timón, pero la solución está en buscar rumbos más cercanos a la popa franca. La escora aceptable es aquella que no nos obligue a corregir el rumbo con el timón (freno). Para esto el trimmer debe reubicar la posición de la tripulación y la posición y forma de las velas, y ante la imposibilidad de lograrlo, a buscar rumbos más cercanos a la popa franca, o sea más cercanos a nuestro objetivo si se trata de una regata.

Cuando la escora es mucha, también el abatimiento es mucho. En esas condiciones el arrastre aumenta y nuestra ala bajo el agua, la quilla, deja de ser eficiente y entra en pérdida o stall lo que nos proporciona un fuerte freno. En un J24 que es de quillote corto, su acción prácticamente desaparece. Con el timón ocurre lo mismo.

La forma del globo más eficiente es aquella que nos permite crear un canal con la vela mayor para obtener un flujo limpio del viento. Eso requiere una preocupación mayor por la salida del flujo, tarea que debe ser atendida por el trimmer del globo. Normalmente el timonel se preocupa de la posición de las lanas de entrada para mantener la incidencia del viento. Eso está bien, pero el trimmer debe preocuparse además de la forma del canal y de la forma en que el flujo sale por el borde de fuga por ambos costados de cada vela, incluyendo el globo. Muchos expertos navegantes se ayudan con lanas o telltales ubicadas en la baluma, única forma de “ver el viento”.

La comunicación del encargado del globo y del timonel debe ser completa. La escota indica la mejor presión sobre la mano y en ese momento debe informar al timonel para mantener ese rumbo. (Primer caso)



En el croquis se intenta mostrar las típicas situaciones en que se altera la velocidad del viento real y en consecuencia modifica el viento aparente.

El viento propio debido a la inercia en un principio no se modifica sustancialmente y en los tres casos se ha mantenido su dimensión.

En el primer caso se muestra una incidencia normal del aparente sobre el borde de ataque del globo.

En el segundo caso el viento real disminuyó y el aparente deforma o desventa el globo. El encargado del globo debe tesar la escota hasta que el globo se infle nuevamente, o el timonel modificar el rumbo, caer para no modificar la posición del tangón.

El tercer caso muestra un repentino aumento del viento real y aunque el globo no se desventa en el borde de ataque, sí sufre deformaciones que provocan pérdida de sustentación por sotavento y por lo tanto mayor escora y pérdida de eficiencia. Se dice que el globo está “sobrepotenciado” y es un error muy común entre los navegantes porque el globo tiene un hermoso aspecto, casi saludable, pero no está aportando más a la velocidad que cuando la incidencia es ajustada al borde de ataque.

Estas modificaciones de viento son muy frecuentes por rachas, y permanentes por el efecto del oleaje que acelera nuestra embarcación en la bajada de la ola y la frena cuando levanta la proa (aumenta el viento real) y cuando estamos en medio de una flota.

De acuerdo a esto podríamos sacar conclusiones de cómo timonear cuando estamos en rumbos portantes con oleaje formado, para mantener la velocidad, y sin aceptar recetas ajenas.

En el caso recién analizado se partió de la base que por inercia el bote no modifica la velocidad que traía, y está en lo correcto, pero si la modificación del viento es permanente, la velocidad comienza lentamente a variar, y deberá ajustarse rumbo o posición del tangón a la nueva situación.

No me he olvidado de la vela mayor, como los tripulantes de la siguiente foto que están preocupados de la ola que enfrentan y de fuerte viento.



Es frecuente ver yates de regata con globo y una vela mayor aplanada en extremo. Esta tendencia tiene origen en una errada teoría de la sustentación y que consiste en la idea de aumentar la diferencia de presión en la canaleta o canal entre velas. En un capítulo posterior nos referiremos a este tema que tanto daño le ha hecho a la navegación a vela.

La vela mayor en la empopada de estos grandes yates debe tener volumen o profundidad de acuerdo a “la profundidad límite”. Esta vela cumple una importante función y tiene que ver con la adecuada formación del canal que genera sustentación, además del equilibrio del rumbo.

El trimado de la mayor en estos rumbos siempre es una complicación y se opta por una receta o mito, que dice que la botavara debe tener el mismo rumbo o dirección que el tangón. Una vez más diremos que es un buen punto de partida para la posición definitiva. En algunos yates se puede sentir la presión de la botavara cuando están trabajando. Con vientos bajos la posición justa puede lograrse soportando la botavara con los brazos, o tomando la escota por una de las primeras reducciones. La posición no es definitiva y siempre debe estar ajustándose.

El hecho que los yates no opten por una popa franca y prefieran rumbos “a un largo” en que la sustentación por sotavento está presente, es la mejor comprobación al hecho que buscar diferencias de presión en las velas es un error.

color

33.- La orza como ala de avión. Vaivén

Consecuencias: El volcamiento.

Culpable: La quilla o la orza cuando se navega empopado con velocidad.

Motivos: Inicio del viraje con mucha velocidad y escora.

La orza de un velero trabaja en el agua desarrollando la misma función que las alas de un avión en el aire. La orza evita el abatimiento, o sea la caída hacia sotavento, y las alas evitan la caída hacia la Tierra en el sentido de la fuerza de gravedad.

Si el ala de un avión modifica el ángulo de incidencia respecto al rumbo horizontal que lleva, el avión sube o baja, según sea el sentido de la inclinación. En una orza, como es fácil de entender ocurre lo mismo, pero horizontalmente sobre el agua.

Si el casco está en posición horizontal y sin escora (nivelado de babor a estribor), cualquier orden de cambio de rumbo del timón o de una amura, a cualquier velocidad, hará que el casco obedezca sin complicaciones. Pero si la orden de cambio de rumbo se produce cuando en barco presenta un grado de escora, aparece un segundo efecto que es el que llamaremos “**efecto ala de avión**” o **alzamiento** y que se manifiesta o se hace sentir cuando la velocidad es superior a los 5 nudos en veleros livianos, de clase o monotipos.

Las muy conocidas consecuencias, de este poco conocido efecto provocado por la orza, son similares a la de un avión que de repente queda con sólo un ala, o sea provoca un giro violento. En nuestra situación significa muchas veces una gran escora o el fatal volcamiento.

Si la escora es a babor y el giro es hacia la misma banda, (en contra de la amura) el efecto ala de avión tenderá a adrizar el bote. Si en el giro se mantiene el “efecto” tenderá a escorar el bote a estribor.

Sugiero que juegue con un velero de juguete para entender este efecto con más facilidad.



La foto anterior nos muestra el inicio del fatal vaivén, causado en un Laser por la orza, porque no aflojó la escota a tiempo, (la escota debe deslizarse por los carros con facilidad) o porque no levantó la orza o no tomó la posición apenas cambió de rumbo.

La fuerza escorante del “alzamiento” de la orza o del quillote, que se puede apreciar en el bote

del medio en la fotografía, depende en forma directa de la envergadura de la orza, la velocidad y el ángulo de giro impuesto por el timón o las amuras.

Para navegar empopado y sin este riesgo, en un Laser o un Lightning u otro bote con mucha velocidad, es básico mantener plano el casco o disminuir la envergadura de la orza, para evitar el efecto ala de avión. Es común en los principiantes y en algunos que se distraen, que bajo estas condiciones, el casco comience a sentir el efecto ala de avión, y se manifiesta con un movimiento de vaivén que inclina el casco hacia un lado y hacia otro. Este vaivén termina sólo cuando el mástil se mete en el agua.

Con mucho viento, ola y mayor velocidad, este efecto es el mayor responsable del naufragio y de la rotura de mástiles de todos los veleros.

También se recomienda, si está seguro de mantener adrizado el casco, para efecto de seguridad (no para lograr más velocidad) desplazar un poco de peso mas a popa, porque de este modo se elimina el efecto de las amuras que se suma la generación de la fuerza de sustentación en la zona de la aleta, responsables del brusco cambio de rumbo no deseado en una embarcación.

La posición del tripulante o de los tripulantes en una navegación empopada con mucho viento y olas, nunca es estática. Su principal obligación es mantener adrizado el casco para evitar sucumbir bajo los efectos “ala de avión”.

Si se trata de optimizar la velocidad en una embarcación pequeña o en una en que el peso de la tripulación respecto al casco es influyente, en un mar con olas formadas, la distribución de ese peso no debe ser estática. Las olas deben remontarse, venciendo a la fuerza de gravedad con el peso de la tripulación más atrás, y para cuando se logra la máxima altura llevar ese peso adelante para iniciar el descenso lo más pronto posible. Este movimiento se emplea además en otros rumbos, para colaborar con el inicio del planeo. El momento justo en que el tripulante debe moverse lo da la experiencia, pero siempre **con el bote plano**.

Cuando se navega empopado en un Windsurf con vientos medios, el tripulante se ubica en la posición media, con el mástil equilibrado en el sentido de proa a popa para aumentar la potencia en la vela y para evitar el freno o los remolinos de agua que se forman en la popa. Si el viento aumenta demasiado, y por consiguiente la ola, la posición del tripulante en la posición media es insostenible, y cualquier caída significa la pérdida de muchos lugares en una regata, por lo que en esas condiciones debe desplazarse hacia popa y generar algo de freno para tener apoyo en la vela que le permitan al igual que un equilibrista, tener una verdadera barra de apoyo. Pero la orza debe eliminarse casi por completo para evitar que el efecto ala de avión adquiera la fuerza necesaria para volcar el casco. La aleta posterior entra a reemplazar la función de la orza.

Las manos en la botavara deben permanecer frente a los hombros y los dedos pulgares de ambas manos deben estar apoyados en línea con la botavara para ayudar a mantener la perpendicularidad de la vela con el viento.

En pleno apogeo de la División II de windsurf, llegó a mis manos una tabla de marca Reix que tenía gran volumen y de popa alta y muy angosta. Con poco viento andaba muy rápido, pero con mucho viento era ingobernable incluso con mar plano. La causa de esto, se debía a la forma de la popa, que hacía difícil mantenerla horizontal o plana, por lo que a la menor escora la orza provocaba un violento giro que sólo terminaba cuando la orza emergía, o sea con el casco de costado. Esconder toda la orza tampoco fue solución por la poca estabilidad que proporcionaba la carena. Con una aleta de popa más larga el efecto no se evitaba pero la velocidad del giro era menor. Era un casco prototipo francés de mucho volumen, de popa angosta y muy redondeada, pero útil sólo para poco viento.

Lo que le ocurría a la tabla de windsurf mencionada es absolutamente válido para embarcaciones mayores. Una popa plana y ancha ayuda a mantener una empopada más estable y sin sobresaltos cuando aumenta la velocidad. Para aumentar la velocidad y el riesgo, no debe olvidar el efecto del aumento de la capa límite, mencionada en la primera parte de estos apuntes.

Es muy difícil empopar en un windsurf cuando el viento sopla fuerte, especialmente cuando tienen casco de sección curva y debe mantener el casco sin escora para evitar el efecto amura. En tablas planas este efecto es menor.

En esa situación el tripulante debe apoyar las sentaderas en los talones o simplemente sentarse sobre la tabla manteniendo la botavara con los brazos estirados o menos para reducir la proyección de la superficie de la vela a la acción directa del viento.

Las tablas son livianas y con poco esfuerzo entran en planeo. En esas circunstancias y empopando el apoyo que tiene el tripulante en la botavara prácticamente desaparece. Cuando el equilibrio no basta solo queda el recurso de sentarse sobre la tabla y meter los pies en el agua para que los empeines ayuden a mantener del rumbo. En ese momento la orza está escondida y el trabajo que debía realizar lo cumple parcialmente la aleta de popa.

En los principios de la división II de windsurf, Gerardo Marín,, uno de los más livianos y jóvenes de la flota y gran navegante, nos sacaba una enorme ventaja porque en las ceñidas empleaba la orza muy perpendicular como un ala de avión. Inclina la tabla y le daba un pequeño ángulo de ataque. Con su liviano peso la orza lo levantaba del agua disminuyendo el freno del agua sobre el casco. Lograba fácilmente entrar en planeo mucho antes que el resto de la flota y la velocidad con poco viento era fácilmente 30% superior al resto de la flota.

Creo que en embarcaciones pequeñas este efecto de alzamiento de la orza puede aplicarse plenamente.

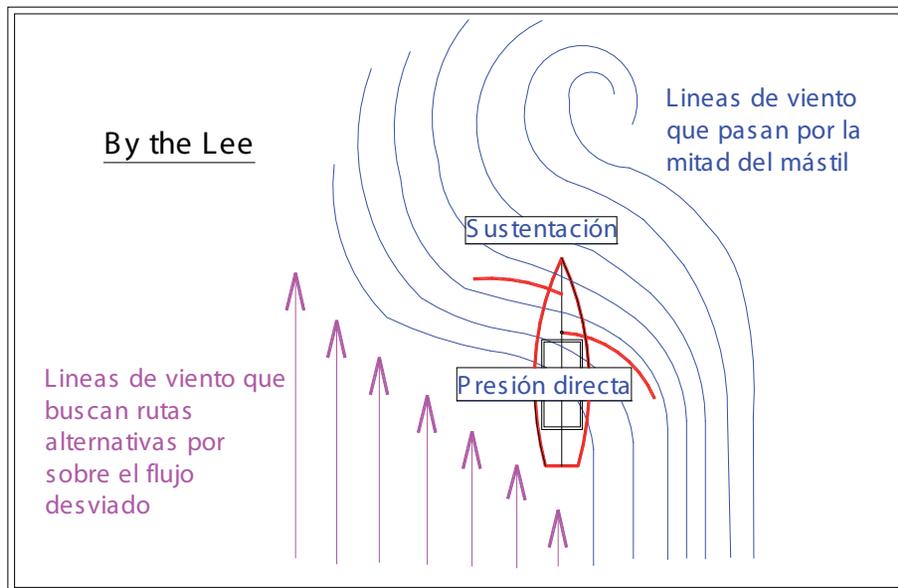
34.- By the lee, por la baluma

Es el nombre que se le da a una forma de navegación cuando se recibe el viento por la popa. Consiste en disponer las velas para que la incidencia del viento acometa por la baluma transformando al gratil en el borde de fuga. El viento recorre la vela al revés de cómo habitualmente lo hace en una ceñida.

Es un sistema de navegación, inestable con mucho viento, empleado hace muchos años por embarcaciones como Laser, Europa, Finn, 420 y en general los que tienen una sola vela. Esta forma según los expertos les da mayor velocidad en comparación a otro bote similar que organiza su proyecto de vela en forma tradicional.

La explicación de la mayor velocidad que se adquiere con este sistema se debe a la forma de la vela, que ahora tiene la máxima profundidad hacia el bode de fuga, a la eliminación del windage del mástil, a la generación de sustentación en parte importante de la vela y a la reducción de arrastre.

También puede aplicarse a embarcaciones de dos velas, foque y mayor tal como se ilustra en el croquis siguiente:



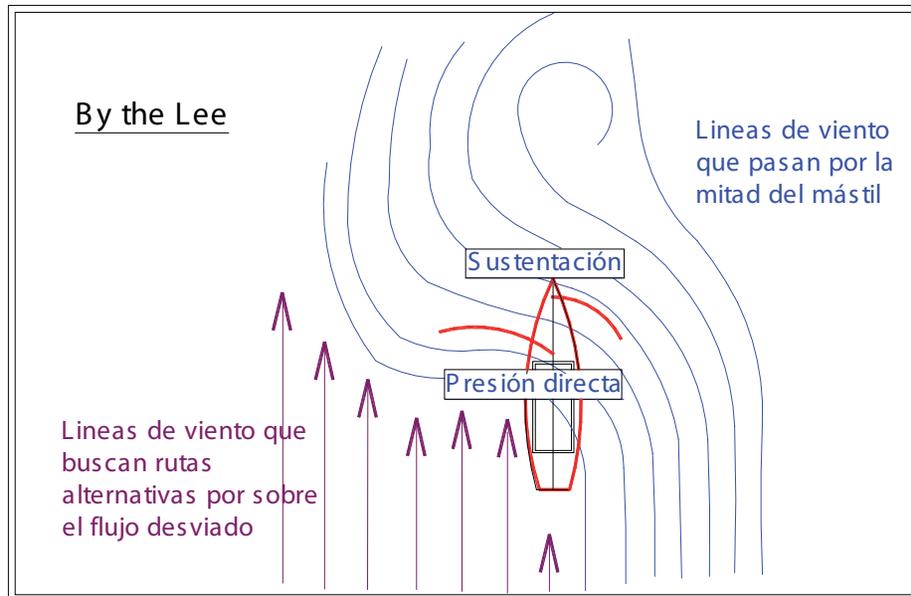
Muchas embarcaciones, tienen los obenques emplazados un poco más a popa para que reemplacen la función del popel o mantener la forma del mástil. Como consecuencia, la botavara no tiene total libertad como en un Laser para tomar ángulos frontales o a escuadra con el viento. Enfrentada a esta posición, y accediendo el flujo por la baluma, una vela de formas tradicionales, genera mayor potencia y menor arrastre, (porque la posición de la máxima profundidad está más cerca del borde de fuga)

La idea es crear flujos que permitan la generación de sustentación por sotavento de ambas velas. La superficie de la mayor en este caso no es interferida por el windage o sombra del mástil y se puede aprovechar toda la superficie, prolongando la acción del flujo en el foque.

Existe otro beneficio que será vista más adelante y que tiene que ver con la posición de la máxima profundidad.

Tiene la desventaja de ser una navegación riesgosa e inestable y que es recomendable sólo para aquellos que la han practicado bajo todas las condiciones de cancha.

La otra alternativa a esta forma de llevar las velas y aun aprovechar las ventajas señaladas se muestran el croquis siguiente:



Esta forma puede ser aplicada a embarcaciones que pueden llevar más adelante la botavara, y eventualmente en rumbos más cercanos a la aleta. En este caso el tangón debe moverse más hacia popa para que la incidencia por la baluma del foque sea la adecuada.

En una regata con mucho viento, en las aguas de Valdivia, nos vimos obligados por el ataque de los rivales, a emplear este sistema y no a trasluchar que era lo lógico para esa incidencia del viento. Pero si modificábamos la posición de la botavara íbamos a perder los pocos metros de ventaja que llevábamos poco antes de llegar a la meta. Soltamos un poco el tangón manteniendo firme la retenida, y el foque tomó una enorme profundidad y una corta cuerda. Fue una sorpresa comprobar que no perdimos velocidad y me atrevería a decir que el rumbo fue más estable y un poco más veloz. Lionel, mi tripulante, navegante con mucho futuro, puede dar un testimonio veraz. Él tiene mejor mano que yo en esta forma de navegar.

Para lograr mantener la baluma recta y tensa de la mayor, debe recurrirse al boomvang, y si opta por el otro sistema, la retenida del tangón del foque debe permanecer fuerte y buscar una forma óptima con la mayor. La profundidad de vela la fija los catavientos que en este caso siempre deben trabajar de baluma a mástil, buscando la “profundidad límite”.

color



El Pirata Priwall sin globo, en Valdivia (Febrero 2006) aplicando la técnica “by the lee” con poco viento.

El tangón del foque muy tenso para tensar la baluma del foque. Al mirar la foto vemos que a esa mayor le falta profundidad y boomvang más cazado. Por la escala de la foto no se nota que la parte posterior de la mayor había reventado el canal de la botavara de madera, lo que impedía que el pujamen se desplazara para dar más volumen a la vela, que era lo que hubiéramos deseado para ese rumbo.

La incidencia apropiada del viento no siempre coincide con el rumbo deseado, pero no daña por la mayor velocidad que se logra.

Navegando por la popa, la creación de flujos armónicos entre las velas es fundamental para lograr más velocidad. Si se emplea globo o spinnaker como los de la foto, debe considerarse como otra superficie apta para crear sustentación. Algunos opinan que es preferible, además de la función impulsora, la tarea de levantar la proa. La fuerza en ese sentido en un mar sin olas considerables es tan poca que bien vale la pena emplear todo el recurso en dar mayor potencia a la sociedad de velas, a menos que con viento fuerte se desee eliminar el efecto de las amuras.

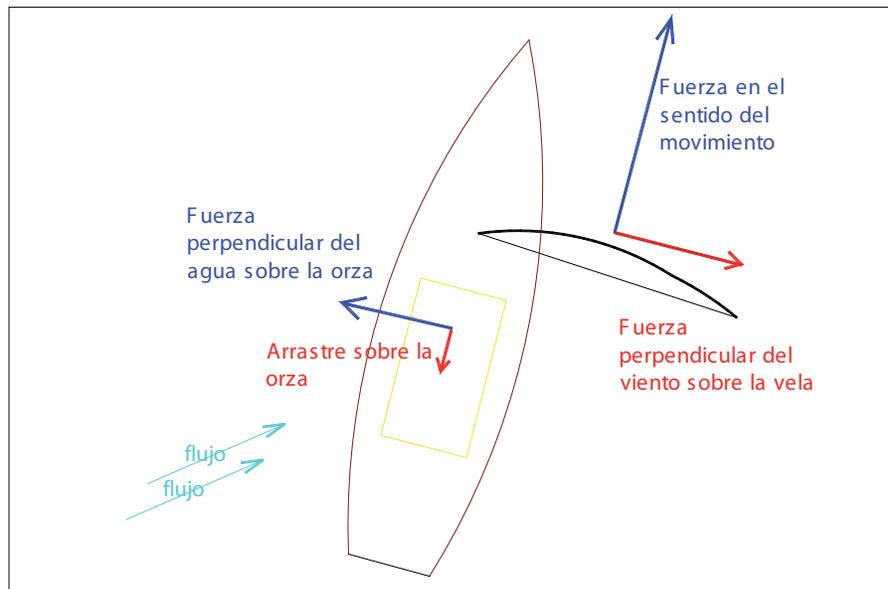
La mayoría de nuestros yates mayores nunca navegan en franca empopada y prefieren hacer un recorrido a favor del viento navegando más a un largo. Los que más se han preocupado de la velocidad de su yate lo hacen porque han estudiado su VMG y saben que con dos tack van a llegar mas pronto a la siguiente boya de sotavento que si lo hicieran en una popa franca. Los que no han estudiado su VMG lo hacen sin saber el resultado que tendrá.

Los antiguos barcos con más de un mástil y muchas velas navegaban a un largo para tener viento limpio en todas las velas. De otro modo las velas ubicadas más a barlovento impedirían que el viento accediera en forma limpia sobre las restantes.

En la navegación todo tiene una razón de ser y la tarea de un regatista es averiguar responsablemente las mejores condiciones para obtener la mayor velocidad de su bote. Copiar lo que hacen los demás asegura ser parte de la manada, difícilmente llegar a ser el líder de la flota.

35.- Navegando a un largo

Al recibir el viento por la aleta, una componente de la fuerza que genera la vela se emplea en hacer avanzar en bote y es contrarrestada parcialmente por la componente del arrastre que provoca el agua sobre la obra viva.



La componente de la fuerza que genera la vela perpendicular a la cruzía provoca escora y abatimiento. El abatimiento es contrarrestado parcialmente por la componente de la fuerza del agua sobre la orza, y la escora por la tripulación.

En este rumbo el viento y las olas atacan por la aleta, por lo que el cabeceo aumenta en ambas direcciones, afectando permanentemente la incidencia del viento sobre las velas. Del mismo modo que en la empopada cada ola nos acelera y la resaca nos frena, modificando la incidencia del viento. Para optimizar la velocidad, la modificación del ángulo de cazado de la botavara, debe ser permanentemente modificado según el viento aparente. La otra alternativa es modificar el rumbo al viento aparente, empleando mucha caña.

Si el viento es mucho y aun con toda la tripulación colgada haciendo contrapeso no se puede adrizar, debe corregirse la superficie vélica, achicando paño o modificando la forma de éstas dándole mayor cantidad de twist, aplanándolas, cazando con fuerza el cunningham para disminuir la superficie expuesta al viento, y en el caso de disponerlo, debe levantarse la orza hasta lograr el objetivo.

Con mar plano podemos optar a menor profundidad en las velas para permitir mayor velocidad producto del menor arrastre del viento sobre la vela. Pero esto tiene una razón de ser que se verá en el capítulo destinado a analizar “la profundidad límite” de una vela.

Navegando a un largo con viento fuerte es la óptima situación para que los botes livianos y de fondo casi plano, como el Laser de la foto siguiente, entren en planeo.



Nótese en la foto, a pesar del viento fuerte que se aprecia, la forma englobada de las dos primeras velas que van en punta.

El cunningham algo cazado para llevar la máxima profundidad en la zona media de la cuerda y el outhaul lo suficientemente suelto para disminuir la cuerda y dar la cantidad de profundidad necesaria para el equilibrio del bote y del rumbo. El boomvang va muy cazado para tensar la baluma y de esa forma mantener la profundidad en todo el alto de la vela y para captar la máxima energía del viento. La orza va a la mitad y el tripulante sentado más a popa manteniendo el casco plano o sin escora.

Si el viento es excesivo deberá abrirse la baluma para dar salida al viento, aumentando el twist y cazando al máximo el cunningham para esconder un poco de vela tras el mástil

Para lograr esto y poder gobernar toda esa energía, se necesita tener a lo menos un peso sobre 85 kilos, una altura superior a 1,80 metros y un estado físico perfecto.



Estos botes, cuando navegan a la cuadra con vientos medios, toman mayor velocidad que a un largo, por lo que es una buena técnica, cuando se debe cumplir con un recorrido obligado a un largo, tomar rumbos ligeramente a la cuadra para tomar más velocidad, y caer posteriormente con la mayor velocidad adquirida al rumbo obligado. Cuando la maniobra se hace bien y la ola coopera, un bote puede sacar a otro bote que no aprovecha este método una enorme y clara ventaja en cada planeo o surfeo. Ahora si toda la flota está planeando, la prioridad es mantenerse con viento limpio y en la bajada de la ola el mayor tiempo posible.

Navegando por la aleta en embarcaciones más pesadas con poco viento y mar grande, debe privilegiarse la potencia para lo cual debe darse mayor profundidad a las velas evitando los flujos adversos o remolinos que se forman por sotavento a partir del borde de fuga.



La foto muestra al Pirata Priwall y a mis dos hijos mayores en la bahía de Caldera, Tercera Región de Chile, en una aleta cerrada (casi una cuadra) con mar plano y poco viento. Observe el estay de proa suelto y la mayor con mucha bolsa. El tripulante va sentado un poco más adelante que cuando el viento es más fuerte.

La navegación por la aleta es por una placentera y segura navegación para embarcaciones con muchas velas. Para embarcaciones menores se dan las condiciones para que se genere cabeceo en ambas direcciones, situación ideal para provocar mareo en la tripulación ociosa.

Para los antiguos Clippers con velas cuadradas, este rumbo era el más rápido, porque todas las velas de los diferentes mástiles contaban con viento limpio, el más estable y el más grato, equivalente a la cuadra en aparejos bermudianos.

Los antiguos hombres de mar, cuando se despedían amigablemente se deseaban “ **vientos a un largo**”.

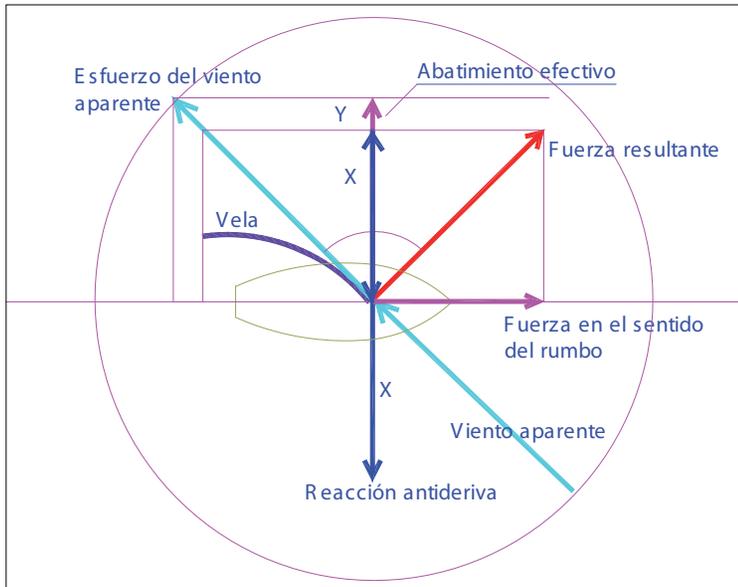
36.- Navegando a la cuadra o por través

Tal como lo indicamos en el círculo de rumbos, en esta navegación el viento real acomete perpendicularmente a la crujía del casco y por lo tanto al plano de la orza. Ahora la razón por la que navega una embarcación no es tan evidente como en los casos anteriores, por lo que citaremos algunos conceptos físicos que tienen relación y que explican algunas causas del desplazamiento de un velero sobre el agua.

Me disculpo con los que ya navegan por la explicación que a continuación expongo para los que se inician, pero para ellos puede ser de interés.

Por medio de vectores que representan fuerzas, con sentido y magnitud, trataremos de entender como interactúan en un velero.

36.1.- Diagrama de fuerzas en un yate a la cuadra



Sabemos que una placa curvada como una vela con forma embolsada, tiene la capacidad de generar una resistencia al viento dos veces superior a una placa plana en la zona de los 10 a 30° de incidencia de viento. Sin embargo para la explicación sea más simple emplearemos una placa plana, al igual que la explicación dada por el antiguo y entretenido libro francés de Jean Merrien “**NAVIGUEZ A LA VOILE**, edición del año 1967.

Imaginemos que tenemos un velero en el agua con una vela tan plana como una placa de madera ubicada en posición de la crujía del bote. Si en esta situación lo exponemos al viento de modo que este actúe en forma perpendicular a la vela, nuestro bote no se moverá hacia adelante o hacia atrás, sino que tenderá a moverse en el sentido del viento, pero este desplazamiento es dificultado por la resistencia que el agua ejerce sobre, la orza, timón y los costados del casco. Aplicamos el principio de acción y reacción.

En estricto rigor lo que acabo de afirmar no es tan exacto, porque sabemos que el viento provoca un par de fuerzas, una sobre la vela de madera y otra de reacción sobre el plano antideriva de obra viva, que tiende a provocar escora o volcamiento, y además de abatimiento. Pero para no echar a perder la explicación supondremos que a bordo tenemos el tripulante ideal que aun cuando no pueda evitar el abatimiento, es capaz de mantener el bote perfectamente adrizado.

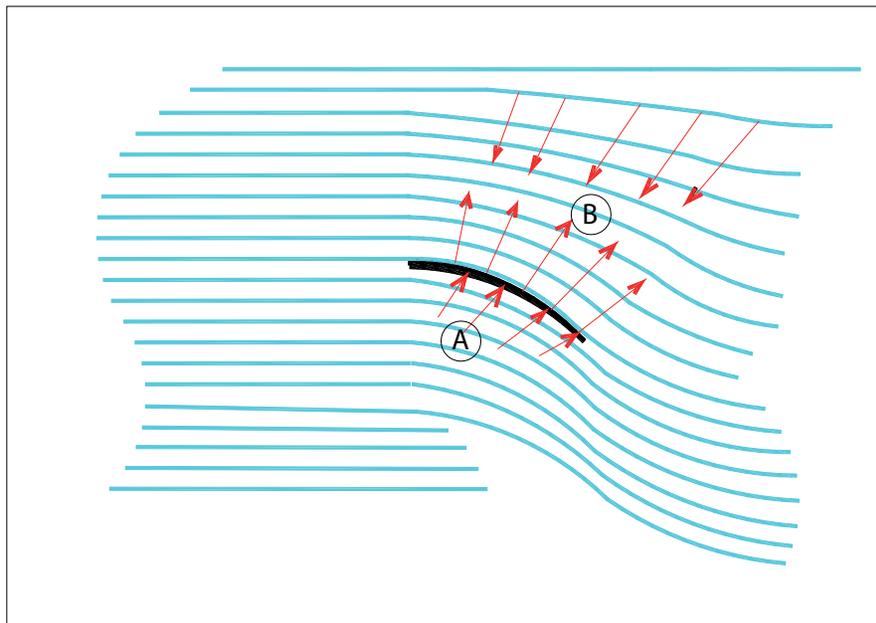
Ahora si soltamos la escota de la vela de madera, de modo que tome un ángulo respecto a la crujía, crearemos plano inclinado. El esfuerzo efectivo obtenido del viento es perpendicular a dicho plano. Si esta fuerza la descomponemos en una componente perpendicular a la crujía y por lo tanto al plano de la orza, y otra en el sentido de la crujía, obtendremos que la primera es anulada o contrarrestada parcialmente por la orza y la segunda provocará el movimiento que deseamos ya que no tendremos más oposición que el arrastre. (Ver el diagrama anterior)

Nótese que el abatimiento de nuestro bote es inevitable, porque se encuentra inmerso en un fluido y no sobre un riel, tal como explicamos en la primera parte.

Esta explicación, del movimiento de una embarcación que navega a la cuadra, es la repetición de la clásica explicación que se da a los principiantes como causa del movimiento del bote, pero en estricto rigor debemos completar la explicación para los navegantes más adelantados:

Si las partículas de aire en movimiento se mantuvieran a la misma altura, lo que jamás ocurre en la naturaleza, podría graficarse como la suma de delgados planos verticales de gran dimensión como un gran cuaderno de hojas inmensas y livianas, unidas por pequeños imaginarios elásticos, (Fuerza que dificulta la separación de las láminas en cualquier sentido) que viajan a la misma velocidad.

Imaginemos que nuestra vela interfiere este desplazamiento como se indica en el croquis siguiente:



Como puede verse en el croquis, el viento que es el conjunto de láminas, es dividido por el mástil o el gratil de la vela en dos zonas:

- Por **barlovento, zona A** de la vela, el viento actúa por **acción directa**, y es fácil entender o sentir su efecto sobre cada elemento donde actúa. Las láminas de viento tratan de chocar con la superficie de barlovento, pero no lo logran porque la mayor parte del flujo que se dirige hacia esa cara es desviada (involucra la acción de una fuerza) y sólo una pequeña lámina de viento entra en contacto con la “frontera” de la capa límite adherida a la superficie de la vela. Se provoca en esa zona un efecto de rozamiento o corte por efecto de la viscosidad, y por lo tanto un retraso con respecto a la lámina siguiente y que sigue afectando a todas las láminas vecinas. Los imaginarios elásticos se han estirado y cuando traspasen el borde de fuga volverán a organizarse. En la realidad como no son láminas sino que moléculas sueltas y libres, una vez que abandonan el borde de fuga se convierten en turbulencias. Aun así el efecto de acción directa sobre la cara de barlovento de la vela se ha logrado.

- Por **sotavento, zona B**, de la vela las láminas de aire en movimiento tienden a seguir la trayectoria recta que traían hasta antes de toparse con la vela, pero una fuerza misteriosa las obliga

a cambiar su trayectoria, deslizándose adheridas a la "frontera" de la capa límite de la cara de sotavento de la vela, hecho que se explica por un principio físico llamado **adhesión**. El cambio brusco de rumbo provocado por la fuerza de adhesión y la tendencia del flujo de láminas libres que mantiene el rumbo a una distancia de la vela, provoca la tensión de los elastiquitos que unen las láminas en contacto con la vela. Una vez que las láminas han abandonado la superficie de sotavento de la vela, las tensiones de los elásticos de las láminas de ambos costados se acomodan hasta lograr el equilibrio que tenían hasta antes de toparse con la vela. En estado libre se suman a las turbulencias del costado de barlovento.

- Gracias a su velocidad y su masa, o sea a la energía que traían, las láminas de viento crean una fuerza de tensión o tracción sobre la cara de sotavento de la vela que denominamos **fuerza de sustentación**.

- Ocurre también que la primera lámina en contacto con la capa límite de sotavento comienza a sentir un retraso y esta sobre la otra lámina, generando una fuerza que se descompone en arrastre por corte o fricción y otra que se suma a la sustentación.

- La comprensión de este fenómeno no es tan simple cuando se provoca en ambientes libres y no en túnel de viento, que es donde normalmente se hacen ensayos para comprender los fenómenos relacionados con los gases y en especial con el aire.

Mi punto de vista respecto a la forma en que se genera esta importante fuerza, como pueden ver es absolutamente diferente a las explicaciones que nos muestran todos los textos de navegación, incluso los más recientes, como por ejemplo, Sail Performance, de C. A. Marchaj, o las Velas de Bertrand Chéret, ambos con edición 2003 que hablan de diferencias de velocidad entre los costados de la vela, que generaría diferencia de presión, que como veremos es una teoría errada y absolutamente descartada en nuestras velas al aire libre.

Por ahora, y para el desarrollo de la explicación de la causa que provoca el movimiento de un barco que navega a la cuadra, nos basta saber que la fuerza se genera por barlovento, por presión directa, y por sotavento, por sustentación.

Cada uno de los costados de la vela genera una fuerza que puede graficarse con un vector. La suma de esas fuerzas genera una resultante. La posición de esa resultante establece el centro de presión de una vela.

El centro de presión o centro de empuje, en un perfil delgado como una vela es muy inestable y se desplaza casi permanentemente por sobre la vela. Esta inestabilidad es provocada básicamente por la separación del flujo por sotavento, lo que elimina o hace disminuir la dimensión de una de las componentes de la fuerza total, provocado por un deficiente trimado o cazado, o por la inestabilidad en la incidencia del viento, o por una inadecuada forma y profundidad de la vela, o por un cambio en la velocidad del bote.

Por barlovento, la posición de la fuerza de presión directa depende también del trimado y principalmente de la forma de la vela. Si la mayor profundidad se encuentra más a popa, por ejemplo a 55%, el centro de presión por ese costado se acercará a ese punto.

Por barlovento tenemos una fiel aliada capaz de acompañarnos incluso cuando el temporal arrece. Por sotavento, por el lado que no está a la vista del timonel, en el lado oculto, tenemos una voluble e infiel aliada, un amor esquivo, que desaparece cuando nos distraemos, cuando nos preocupamos de otras cosas, o cuando las condiciones o situaciones se tornan difíciles. ¡Qué parecido a lo que suele su-

ceder a los hombres de este planeta! Sin embargo en la navegación necesitamos de ese amor inestable para obtener más velocidad y para ganar regatas.

Cuando el viento es muy fuerte, cuando el temporal arrecia, no es posible mantener la fuerza de sustentación en nuestras flexibles telas y desaparece. La sustentación solo existe en un rango limitado de viento.

Mi tío César decía que “cuando el hambre entra por la puerta, el amor arranca por la ventana”. Cuando el viento hace difícil la navegación, cuando el temporal arrecia, nuestra infiel sustentación desaparece, como cuando el amor se fuga por la ventana.

Fatalmente, cuando aparecen las dificultades, esos volubles amores, caprichosos y ocultos irremediablemente nos abandonarán.

37.- Navegación en ceñida.

37.1.- Definición

De acuerdo al círculo de rumbos, es la navegación que hacemos teniendo el viento real a menos de 45° (El aparente puede ser 32° e incluso menor, dependiendo del velero)

El diagrama de fuerzas expuesto anteriormente es perfectamente aplicable a este rumbo, pero ahora con la vela más cerrada que en la cuadra. En este caso las líneas de viento que la vela capta son menores, por lo que la velocidad en ceñida es menor que a la cuadra, y el abatimiento aumenta cuando la ceñida es más apretada o a menor ángulo.



Una flota de J24 ciñendo en aguas agitadas.

La navegación en ceñida, cuando se trata de ganar unos metros de ventaja a un rival, es la que más sensibilidad exige al timonel y a la tripulación. Ahora no tenemos la sombra permanente de un volcamiento inminente como cuando se navega empopado, por lo que toda la atención debe estar centrada en la potencia de la vela, en disminuir el arrastre, en velas y casco, en la forma e incidencia del viento, en las rachas, los cambios de rumbo del viento (catavientos), la forma de tomar las olas, la posición de la tripulación para el equilibrio del bote en ambos sentidos, las corrientes, la velocidad respecto a otros botes que han optado por costados diferentes de la cancha y la táctica en general.



Nacho y Lionel ciñendo en La Herradura, 4º Región.

37.2.-Posición de las velas

El capitán fija un rumbo para que el proel afiance la posición y forma del foque. A continuación el trimmer debe buscar la forma más adecuada en la mayor para el tipo de mar, corrientes de agua y las características del viento y fijar el ángulo de cazado. Para evitar pérdida de tiempo, debe recurrir a las marcas de los ajustes que se supone se han determinado en entrenamientos anteriores, en la botavara y escotas, graduadas para ese determinado viento.

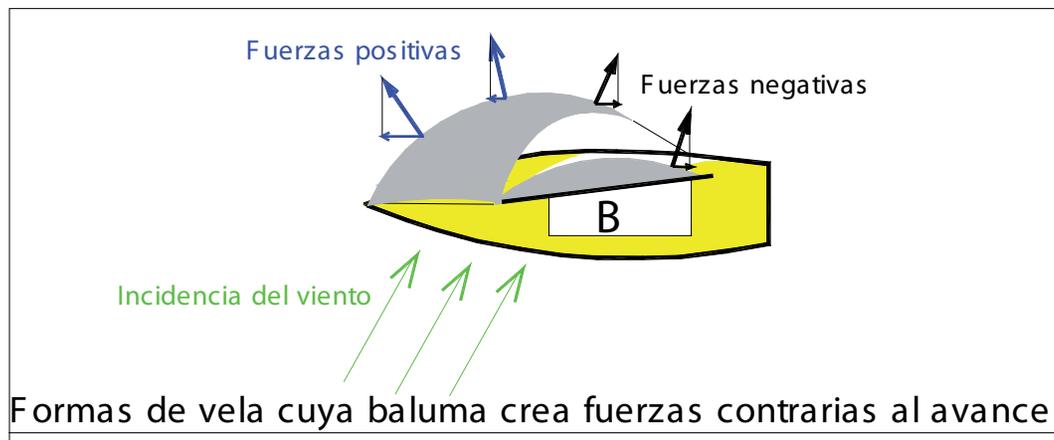
Este tema nunca termina aquí ni es tan simple, porque a medida que el bote toma velocidad, aparece una nueva condición de viento aparente, por lo que se debe realizar aquellos pequeños cambios o afinamiento para buscar el equilibrio del velero hasta que el timón deje de efectuar esfuerzos para mantener el rumbo. Si a pesar de todos los esfuerzos no se logra, la razón debe buscarse en la inclinación del mástil, en el tamaño de las velas o en la escora.

Para vientos medios, el capitán o el trimmer debe ordenar a la tripulación para que se ubiquen cerca del centro de giro para disminuir el cabeceo longitudinal, para eliminar las turbulencias de popa, y eliminar hasta donde se pueda la escora o provocarla en caso de poco viento. El timonel debe mantener el rumbo anticipándose a cualquier racha y no perder de vista el objetivo final o marca a la que se debe llegar. Si se trata de regatas de barcos monotipos, analizar el desarrollo buscando el camino o track más favorecido de acuerdo a la rolada permanente del viento, de la agitación del agua, de las corrientes, del tamaño de las olas.

En la ceñida, y en otros rumbos, es importante no tan solo que la incidencia del viento por el gratil esté en acuerdo con el ángulo de ataque en todo el alto de la vela sino que la salida del viento en todo

el alto de la baluma sea limpia y sin turbulencias. Esto vale para todas las velas que están trabajando.

La salida del viento debe tener un ángulo no menor a la línea que establece la crujía del bote, para no generar fuerzas negativas, como se muestra en el croquis:



De acuerdo a lo que veremos en el capítulo dedicado a **la sustentación** que se genera por sotavento de una vela, y a la búsqueda de **la profundidad límite, la atención principal del timonel y de la tripulación encargada, debe centrarse en los catavientos que no se ven y que están ubicados cerca del borde de fuga del costado de sotavento**. Normalmente navegamos sólo mirando los catavientos cercanos al gratil, los de la entrada del viento, pero no nos fijamos en los más importantes que indican la salida del viento por sotavento. Actualmente las velas de fábrica no tienen estos catavientos, que son los más importantes de observar, y sólo tienen los de la baluma, que aunque importantes y prácticos no nos dicen el nivel de error de la forma de la vela.

Una posibilidad de ayuda, ya que ese cataviento no se ve ni las velas suelen ser transparentes, es dejarlos más largos de forma que cuando el flujo sale limpio y hacia el borde de fuga aparezcan. Si no se ven desde barlovento, es porque el flujo que genera sustentación se ha separado o desprendido y en esa situación el flujo es al revés, como se intenta mostrar en la foto siguiente.

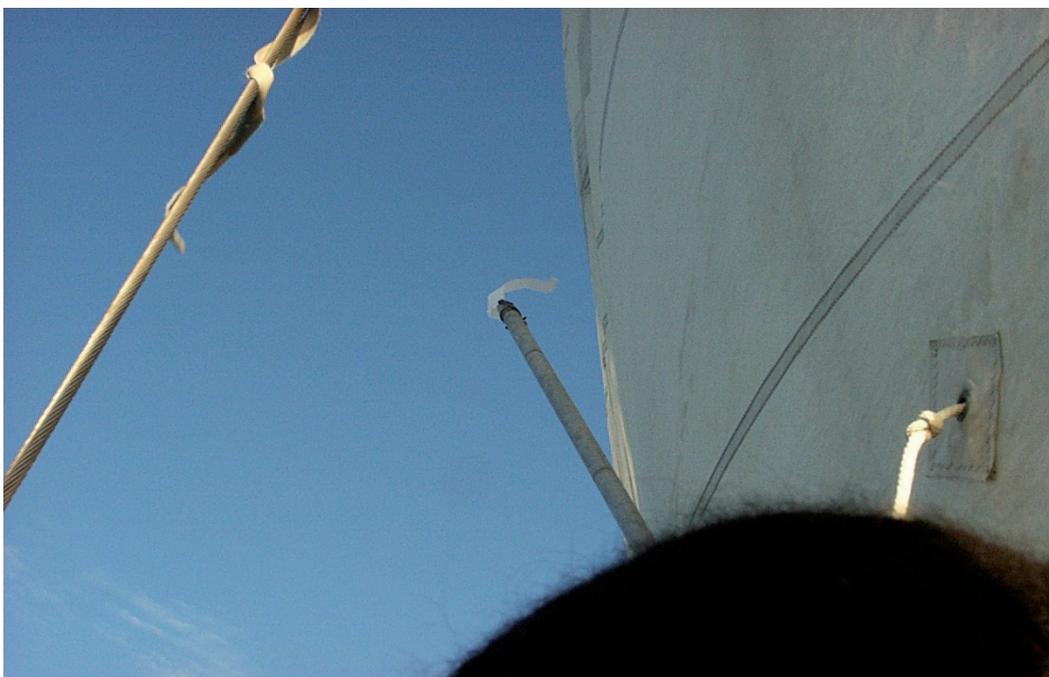
En esta situación los catavientos que vienen de fábrica emplazados en el borde de fuga desaparecen de la vista del timonel.



La vela mayor del clásico yate IORANA (Mirada de proa a popa) de la foto no cuenta con los catavientos en la baluma. Para mostrar el efecto mencionado utilizamos un tubo de aluminio en cuyo extremo amarramos un alambre de acero y en extremo de este, un trozo de tela liviana a manera de cataviento. Emplazado a 40 centímetros de la baluma de la mayor y a media altura, de la vela que va cazada en exceso, se puede apreciar que el flujo se devuelve hacia el mástil, generando la pérdida de la sustentación y generando un fuerte arrastre o freno.

Resuelto el problema del exceso de cazado de la botavara, se puede apreciar en la foto siguiente que el flujo va en sentido del borde de fuga, pero hacia arriba, lo que indica que la genoa en complicidad con la vela mayor tienen exceso de twist.

En este caso se restableció la sustentación por sotavento de la mayor, y a pesar de no ser la ideal porque aun genera arrastre, esta situación es más favorable que el caso anterior. Este sistema se emplea cuando el viento es poco y cambiante, pero la solución final para vientos superiores a 5 nudos está en reducir el twist en ambas velas hasta donde nos indiquen las lanas.

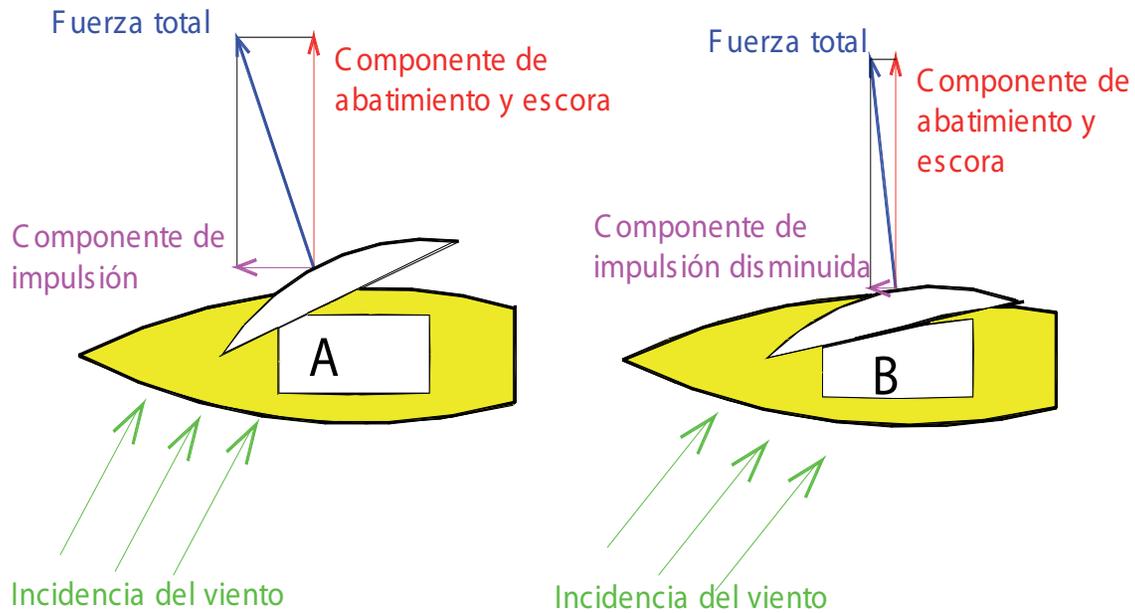


Podemos apreciar nítidamente en este ejemplo, que si el viento recorre diagonalmente la superficie de la vela, la cuerda que ese trazado determina es diagonal y es más larga, lo que equivale a tener una vela con menor aspecto, o sea de menor altura y más ancha. Sirve igual, pero será menos eficiente para vientos mayores de 5 nudos.

37.3.- El grado de cazado de la botavara es otro detalle importante en la ceñida.

Hemos visto que una vela pierde sustentación porque el viento es excesivo, porque la profundidad es excesiva, porque la máxima profundidad tiene un radio de giro muy pronunciado, o porque la incidencia del viento sobre la vela no está de acuerdo al ángulo de ataque de la vela.

No siempre lograremos una buena ceñida, trazada en un rumbo real, o sea la que podríamos dibujar en la arena o en el fondo del mar, si cazamos más la botavara que lo conveniente. Con una botavara muy cazada podemos llegar a anular la fuerza total de impulsión y provocar sólo abatimiento, como grafica el croquis siguiente:



En el croquis se puede apreciar a dos embarcaciones, **A** y **B** que tratan de ceñir con velas similares en tamaño y forma. La embarcación **A** lleva un rumbo más abierto que **B** (vea el ángulo del viento) y la componente de la fuerza total de impulsión es más del doble de la fuerza de impulsión de **B**, pero el rumbo es más abierto.

La embarcación **B** de acuerdo a la incidencia del viento, navega en un rumbo de ceñida más cerrado, con la vela más cazada que la embarcación **A**, **pero más lentamente, por lo que el abatimiento es también mayor.**

La incidencia del viento real es perpendicular a la crujía, pero lo que está en el croquis con verde, es el viento aparente en un rumbo a la cuadra.

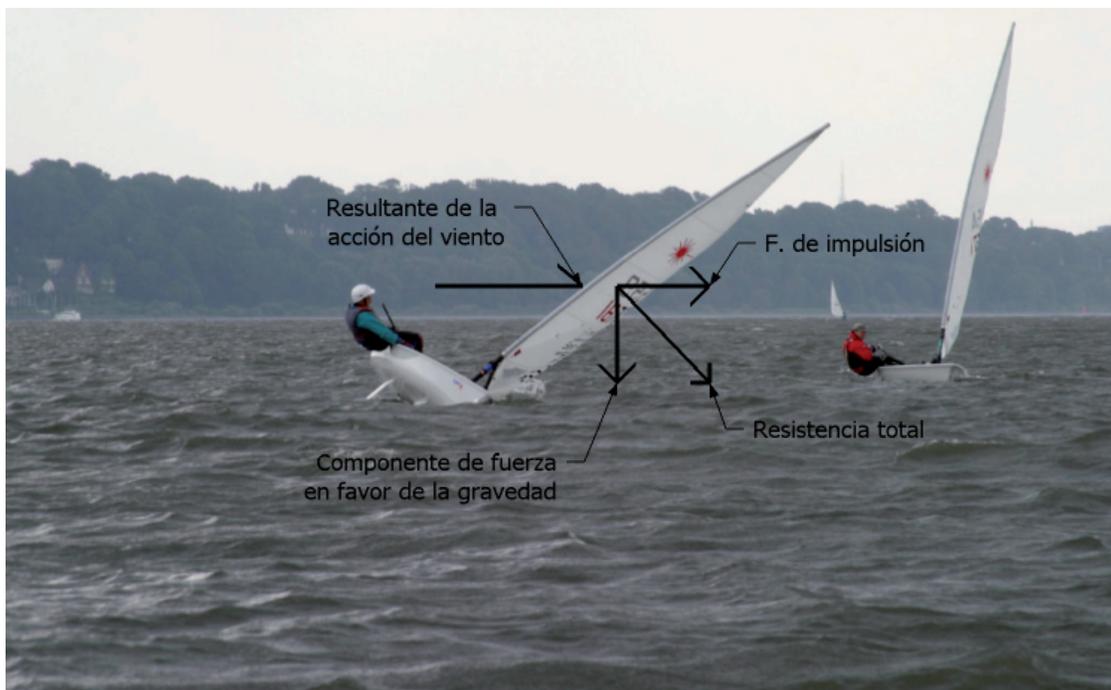
Así como la empopada exige concentración para no volcar con vientos fuertes, la ceñida exige la mayor concentración en los temas mencionados bajo toda condición de viento. Un hombre con frío, cansado, deshidratado, distraído o enamorado, o bajo cualquier situación que le impida un razonamiento coherente y ágil, no puede pretender estar entre los mejores o en punta, ni menos ganar regatas en que la ceñida es parte importante del recorrido.

Para tener éxito en la navegación competitiva, al igual que la vida diaria, requiere de una preparación personal previa en lo físico y en la capacidad de concentración en los objetivos que buscamos lograr o metas que nos proponemos alcanzar.

37.4.- La escora en una ceñida

En esta navegación la tendencia a la escora es común en yates grandes y el contrapeso de la tripulación suele ser sólo un pequeño paliativo, pero útil.

Navegando escorados aparecen nuevas fuerzas en las velas y en el casco, casi siempre perjudiciales. Por ahora sólo mencionaremos algunos nocivos efectos:



- La primera y más visible es una componente que actúa verticalmente sobre la vela, a favor de la fuerza de gravedad, lo que equivale a un mayor lastre, o sea nos hundimos un poco más, con lo que aumenta la superficie de rozamiento, aumenta el volumen sumergido, y la proyección del casco en el sentido del movimiento. Estos son las principales causas generadoras del arrastre.

-La segunda está bajo el agua, y corresponde a la disminución de la proyección de la orza, o sea tendremos mayor abatimiento. Podrá discutirse que la orza al estar inclinada genera una componente vertical que tendería a contrarrestar a la componente de fuerza sobre la vela, que tiende a hundirnos, es cierto, pero de menor magnitud, ya que dependería de una forma y velocidad transversal o de deriva con la que no cuenta.

-La escora hace que la superficie de casco en contacto con el agua sea distinta a la que fue diseñada como óptima. Esta forma podría crear al igual que la vela una fuerza de sustentación negativa al avance en la zona de la aleta del casco a favor de la deriva y del giro, factor que cambia el equilibrio del bote obligando a meter más caña o timón a barlovento.

-Al aumentar la deriva y el abatimiento, se generan vórtices en cada punto de separación de cada elemento del casco, en la orza y el timón. Seguramente al escorar el espejo de popa se hunde provocando estelas y remolinos, causantes del freno de nuestro bote.

-Al escorar las líneas de viento horizontales deben recorrer más distancia por sobre la vela o lo que es lo mismo, estamos cambiando la eficiente vela por una más baja y más ancha y con menos ángulo de ataque.

-Se modifica el centro de presión de las velas, lo que desequilibra el bote.

-Disminuye el brazo de palanca del peso de la tripulación para contrarrestar la escora con más eficacia.

-Al aumentar el abatimiento, que equivale a aumentar el ángulo de incidencia del agua sobre la “zona de estancamiento” del quillote hidrodinámico, entra en pérdida de sustentación. En botes de orza plana la pérdida de sustentación se provoca mucho antes que en formas aerodinámicas e hidrodinámicas.

Usando génoas grandes se puede llegar a navegar con una escora y abatimiento tan exagerado que es equivalente a una lenta navegación por cuadra, mientras el distraído capitán asegura estar ciñendo.

En resumen, navegando escorados cambiamos por completo la forma de nuestras velas y casco. Anticipándonos a un análisis que haremos más adelante, mencionaremos que, se modifica el ángulo de ataque, la profundidad, el punto de mayor profundidad, en centro de presión y la circulación del flujo que provoca la impulsión, creando mayores vórtices de arrastre inducido, etc.

¡La escora es el desastre mismo para la velocidad y el rumbo!

Hicimos en ensayo en un 470 en la bahía de Caldera que es famosa por su belleza y aguas planas aun con fuerte viento y porque aun se puede navegar sin la interferencia de boyas de cultivos como Bahía Inglesa.

Navegamos con mi amigo Kiko en una ceñida normal y con un GPS. Medimos la velocidad con el bote plano y cuando permitimos algo de escora. El resultado es sorprendente, porque la velocidad bajó de seis a cinco nudos.

Para verificar cuanto afecta la escora, realicé un experimento, en un túnel de viento que me facilitó la Universidad de La Serena, con un modelo de un prototipo normal de vela. Para este caso no es necesario hacer las correcciones de densidad y de similitud dinámica que me sería obligatorio para otras conclusiones, porque en la comparación de porcentaje no es relevante.

Los resultados fueron los siguientes para un viento de 8 m/s:

<u>Ángulo de escora</u>	<u>Sustentación</u>	<u>Arrastre</u>
0,0 grado	19,50	17,50
10 grados	18,20	18,60
15 grados	17,50	19,40
24 grados	16,00	20,10

(Nota: La sustentación en este caso se considera como la de un avión, presión directa más sustentación por sotavento)

Podemos ver en este ensayo, como disminuye la sustentación con la escora y como aumenta el arrastre. Por tal motivo la recomendación para veleros livianos, es no permitir escoras y para los yates grandes de quilla, la menor posible. Otros textos aconsejan escoras no superiores a 18°. Nosotros recomendamos evitarla a toda costa.

Una vez más, inexorablemente se repite la sentencia: **“en la navegación lo que no es bueno es doblemente malo”** Si el equilibrio de fuerzas debe corregirse con el timón, la velocidad disminuye notablemente.

Si no se corrige la escora, entonces sucede lo que acabamos de analizar.

Si el ángulo de incidencia del viento sobre el punto de ataque de una vela no es el exacto, el arrastre aumenta en forma dramática y la sustentación por sotavento desaparece. Sin embargo este efecto por incidencia del viento, que es válido para velas normales, tiene una variación que mejora notablemente el rendimiento en las velas “full batten” es decir aquellas que no tienen sables que hacen rígido la primera zona de ataque de la vela.

Veremos más adelante **que un perfil rígido genera mayor sustentación y menor arrastre cuando el ángulo de incidencia del viento en un par de grados negativo.**

Esta afirmación producto de ensayos en laboratorio de fluidos es de enorme importancia para

lograr mayores velocidades en nuestro bote y hace una enorme diferencia con perfiles de vela que no son rígidos.

Si la primera parte de la vela fuera tan rígida que soportara ángulos negativos de incidencia, estaríamos en presencia de una enorme ventaja en arrastre y en potencia por sobre otro bote que emplea una vela normal.

Esto es difícil lograrlo en un foque o génoa, pero en la mayor perfectamente se puede lograr y es una condición que un trimmer o un capitán deben manejar para lograr mayor velocidad.

37.5.- Ceñida en grandes yates.

Nuevamente haré una pequeña diferenciación entre veleros livianos y pesados o de gran eslora.

Los grandes yates tienen una gran masa e inercia cuando se mueven, que es necesario entrar a considerar cuando se trata de mantener la velocidad en una ceñida o cuando deben virar.

El viraje por adelante en un yate de gran inercia es un importante tema en el que la pérdida de velocidad debe ser considerada. Un viraje cerrado provoca más pérdida de velocidad que otro más amplio. La pasada de una boya ya no es un pequeño detalle.

La pérdida de velocidad en un viraje provoca problemas que normalmente van en aumento. Se genera un cambio en el viento aparente, ajuste en el trimado y modificación del afinamiento. Normalmente en regata este cambio de marcha, que en un automóvil se arregla poniendo una marcha más reducida, no se ejecuta y la recuperación de la velocidad perdida se hace difícil.

En esta navegación y en otras el rol del timonel es importantísima y siempre debe estar en buena comunicación con el trimmer quien es otro importante personaje que debe corregir, tanto la posición y forma de las velas, como la posición de la tripulación o distribución del peso de los tripulantes para corregir la mala posición del timón o equilibrar el barco.

El timonel debe ubicarse por obligación en donde va la caña y en el lado en que reciba el viento con la menor interferencia. Hemos visto, por modas o por malas copias a timoneles ubicados a sotavento bajo cualquier condición. La razón puede encontrarse en la temperatura, frío por ejemplo, o porque desea ver la salida del viento de la génoa, cuando el viento es escaso.

Un buen timonel debe emplear todos los sentidos en detectar el rumbo del viento y sus alteraciones en su cara, la inclinación y las aceleraciones en el cuerpo. Navegar sintiendo el bote es más importante para el rendimiento que timonear mirando sólo las lanas que detectan la entrada del viento en el gratil de las velas. En navegaciones nocturnas esta ventaja se hace más evidente.

Un bote liviano facilita el uso de los sentidos, porque las aceleraciones son más rápidas que en un bote de gran inercia.

En estos grandes yates el timonel debe en consecuencia usar sus sentidos como “principal instrumento de navegación” y como complemento la observación de las lanas que delatan el rumbo de acometida del viento, la observación de los instrumentos que determinan la velocidad del bote, la velocidad del viento, y grados de escora. Es importante que tenga la ayuda del capitán cuando las lecturas cambian bruscamente.

Gobernar basándose sólo en los catavientos o lanas puede llevar a grandes errores en la velocidad. Las lanas de acometida y las del borde de fuga en la baluma pueden mostrarse muy hermosas en la horizontal que deseamos. Lamentablemente esto puede suceder en un amplio rango de profundidad y forma de la vela. La tarea del trimmer, aparte del equilibrio de la embarcación, debe darle la forma que genere la mayor potencia con el menor arrastre, para el tipo de ola a la que nos enfrentamos. Una vela plana o con mucho twist siempre nos mostrará unas preciosas lanas, pero eso, como se ha dicho no basta.

Otra razón para que el timonel se ubique a barlovento es la observación que debe tener sobre la acometida de las olas. Las olas son todas diferentes y la topografía de la superficie del agua tiene una

enorme importancia en el freno y rumbo de la embarcación.

Cuando tomamos mal una ola, aparte de mojar a la tripulación, provocamos un brusco freno.

En un yate con gran inercia perder la velocidad, como ya hemos dicho, es grave, porque deberemos gastar mucha energía del viento en volver a acelerarlo para que nuevamente logra la velocidad más parecida a la constante.

El conocimiento del V.M.G. del yate es un valioso instrumento para detectar falencias en la velocidad, referidas a la velocidad del viento y el ángulo de ceñida. Si con un viento de 10 nudos el V.M.G. del yate indica que deberemos llevar una velocidad de 5 nudos, y en realidad sólo tenemos 3,2 nudos, entonces las alarmas deben sonar para detectar las causas de la mala velocidad.

Las olas en un yate grande afectan en menor cantidad que lo que afecta la misma ola a un yate de menor calado. Sin embargo siempre la elección de la forma de tomar una ola puede significar un menor daño a la velocidad.

Con un mar con olas nunca será una buena opción apuntar mucho, tomar un ángulo muy cerrado de ceñida. Sólo podemos trimar las velas con apretados ángulos de ataque para ceñir mucho cuando se dan las condiciones de mar plano y estabilidad en la velocidad y rumbo del viento. Esto casi nunca sucede.

Con yates grandes, pesados, de gran inercia, la opción válida es navegar en ceñidas más abiertas, con velas que tengan un mayor ángulo de ataque y con adecuada profundidad, con el fin de no caer en “la rueda negativa de la fortuna”.

Séptima Parte

38.- La Fuerza de sustentación y sus efectos

38.1.- Un camino difícil

Hace ya siete años que escribí en mis primeros apuntes de navegación, que la fuerza de sustentación que se genera por sotavento de nuestras velas cuando son expuestas al viento, no era producto de la diferencia de velocidad de los flujos que divide el gratil de una vela, y menos aun la hipotética diferencia de presión que provocaría esta diferencia de velocidad, basada de las ecuaciones de Bernouilli. Expliqué en esa oportunidad que cuando navegamos con vientos bajos como por ejemplo 10 nudos, el foque dividía el flujo y que la diferencia de velocidad entre los costados era prácticamente nula, y por lo tanto ninguna fuerza atribuida a esa diferencia de presiones podría justificarse, y que además por ser un sistema de flujo libre la ecuación de Bernouilli (sin su consentimiento) no era aplicable.

En una charla náutica que nos dieron unos destacados navegantes nacionales, se me ocurrió plantear mi duda sobre la generación de la sustentación que nos plantearon, agregando que las causas eran otras. Se miraron entre ellos y se sonrieron.

No insistí en el tema.

Al respecto cito las palabras de Eli Goldrat, doctor en física y autor de best seller en el área de los negocios, quien ante la consulta de porqué su exitosa teoría económica no era tan ampliamente aplicada, respondió: **“cuando tu solución supone un cambio de paradigma, cuando planteas que se está trabajando con supuestos que son erróneos, inevitablemente genera resistencia porque sugiere una revolución, e implementar cambios de paradigma siempre me trae problemas severos”**.

Buscando antecedentes que avalaran mi postura, y aliviaran mis propios “problemas severos”, encontré recientemente un artículo que transcribo y resumo para ustedes. Si desean leerlo en extenso, pueden buscarlo a partir de N.A.S.A, National Aeronautics and Space Administration.

Tal como informa la N.A.S.A en sus periódicos boletines, transcribo textualmente....**“hay muchas explicaciones sobre la generación de la sustentación que se pueden encontrar en enciclopedias, textos de física básica, y en los numerosos sitios de la Web. Desgraciadamente muchas de las explicaciones son engañosas e incorrectas. La teoría sobre la generación de la sustentación ha llegado a ser una fuente de grandes controversias y un tema de acaloradas discusiones”**.

En esos boletines hace además un detallado análisis de esas erradas teorías, las que citaré en forma resumida y agregaré al final de ellos un breve comentario.

38.2.- Primera teoría incorrecta

La teoría que podemos llamar como “Equal Transit Time” establece que: textual, “los perfiles aerodinámicos tienen una superficie superior (extradós) más larga que la superficie baja. Las moléculas deben transitar más rápidamente por el extradós que por el intradós con el fin de volverse a juntar en el borde de fuga. De acuerdo a la ecuación de Bernouilli, la presión en la parte alta es menor que en la parte baja del perfil. La diferencia de presión es la causa de la **sustentación**”.

Comentario:

Los perfiles aerodinámicos que generan sustentación no siempre tienen el extradós más largo que el intradós. De hecho actualmente se emplean perfiles que se llaman (Low drag), “de poco arrastre” que tienen el intradós más largo que el extradós.

Por otro lado, con esta teoría no se podría explicar la causa por la que un avión puede volar al revés. La razón por la que genera alzamiento se debe a la acción del aire por el costado que hace de intradós, que es más importante que las distancias recorridas por las moléculas de aire por un costado u otro.

Las partículas no deben necesariamente volver a juntarse después de haberse separado en el punto de ataque. Esta afirmación tiene una base de “amistad molecular o amorosa” más que una base científica.

En un experimento con túnel de viento se midieron las velocidades distintas entre los costados y se determinó la diferencia de presión. La diferencia de presión sirve para determinar fuerzas. Hechas las mediciones se llegó a la conclusión que la fuerza generada no alcanzaba para justificar la sustentación generada por el perfil.

Un famoso norteamericano, autor de numerosas y famosas obras relacionadas con la navegación a vela, en su libro *Sail Performance* da una explicación de la sustentación basada en esta teoría. Supone que por un costado de un perfil el flujo avanza a 60 pies por segundo (35 nudos), y por el otro lado **¡120 pies por segundo!...** (70 nudos)... con esta diferencia de velocidad se puede justificar cualquier fuerza de alzamiento en el interior de un túnel de viento.

En nuestras velas jamás podríamos tener tamañas diferencias de velocidad entre los costados.

Esta teoría, llamada “Equal Transit Time”, es fácilmente digerida y posible de aceptar porque recurre a efectos reales, como la teoría de Bernouilli, que se emplea en otros sistemas, pero que se basa en argumentos ajenos a la mecánica de los fluidos, como la obligación, que tendrían las moléculas separadas, de juntarse nuevamente después de su paso por el perfil.

Basados en esta errada teoría, algunos famosos instructores de vela y asesores de importantes regatas internacionales, recomiendan organizar la forma de la vela y el ángulo de incidencia sobre ella de tal forma que se forme un especie de colchón de aire que no se mueva porque de esa forma la diferencia de presión entre los costados es aun mayor y mejora la sustentación.

Errores graves que se convierten en más graves por ir más allá de una ya errada teoría.

38.3.- Segunda teoría incorrecta

Esta segunda teoría se basa en la idea que la sustentación es la fuerza de reacción de las moléculas de aire convertidas en flujo, que golpean la cara de barlovento de una vela e intradós de un ala de avión. Explican que es lo mismo que sucede con una piedra plana que se lanza con un pequeño ángulo sobre la superficie del agua cuando está quieta. La piedra rebota. Esta teoría fue bautizada como “La teoría de la piedra saltarina”

No merece ser comentada.

38.4.- Tercera teoría incorrecta

Esta teoría considera que un perfil aerodinámico que tiene una forma curvada en la parte superior, actúa cuando recibe la acción del flujo, como si fuera una verdadera boquilla y por lo tanto se puede configurar como un tubo Venturi.

A continuación exponen: que “considerando la teoría de la conservación de la masa, se puede asumir que por la angostura del tubo Venturi la masa que debe pasar debe permanecer constante, y para que esto se cumpla el flujo debe aumentar la velocidad. De acuerdo a la ecuación de Bernouilli, la ma-

yor velocidad significa menos presión que la parte baja del perfil aerodinámico. La diferencia de presión provoca una fuerza en el sentido de la menor presión. Esta es la que se llama fuerza de sustentación”.

Comentario: Si hablamos de un cuerpo en el interior de un túnel de viento, que provoca un angostamiento, siempre se provocará un aumento de la velocidad del flujo en la zona más estrecha. Los expertos dicen que si se conoce la velocidad, se puede determinar la diferencia de presión y por lo tanto la fuerza generada en ese punto. Para eso no necesitamos un cuerpo aerodinámico. Basta con exponer una manzana y la diferencia de velocidad se producirá de la misma forma.

Para que sea una boquilla y se pueda aplicar los principios del tubo Venturi, debe existir una sección por donde el flujo esté obligado a pasar, como si se tratara de agua u otro líquido que es impulsado por una bomba.

Estamos hablando de una vela o de un perfil aerodinámico expuesto al viento en un ambiente libre. El viento que se desplaza a un metro del perfil o de unos pocos centímetros del perfil, no está obligado a pasar con mayor velocidad por un costado de la vela. Tiene la total libertad para detenerse o desviarse por otro camino en que nada lo obstruya. La libertad de movimiento, es la mejor característica de los gases que conforman la atmósfera.

De acuerdo a esto, en nuestras velas, donde no existe un aceleramiento del flujo porque no existe un tubo Venturi adherido a la superficie de sotavento, no se produce una diferencia de presión y por lo tanto ninguna fuerza puede generarse por ese costado basado en estas erradas suposiciones

Es impresionante verificar la cantidad de explicaciones de fenómenos de la vela que nos entregan los libros de navegación, basadas en experimentos de túneles de viento con perfiles aerodinámicos y con erradas teorías.

Expertos de la N.A.S.A indican que: textual, **“para entender la forma en que se genera la fuerza de sustentación debemos recorrer un tortuoso camino que no admite simplificaciones. Las leyes de NEWTON sobre el movimiento establecen la conservación del momentum. Las ecuaciones de BERNOULLI establecen la conservación de la energía. Las ecuaciones que relacionan la momentum y energía masa de un fluido son conocidas como las ecuaciones de EULER. Las que incorporan los efectos de la viscosidad se llaman las ecuaciones de NAVIER- STOKES”**.

Ellos fueron insignes investigadores de Francia y de Inglaterra, que extendieron los trabajos de Euler.

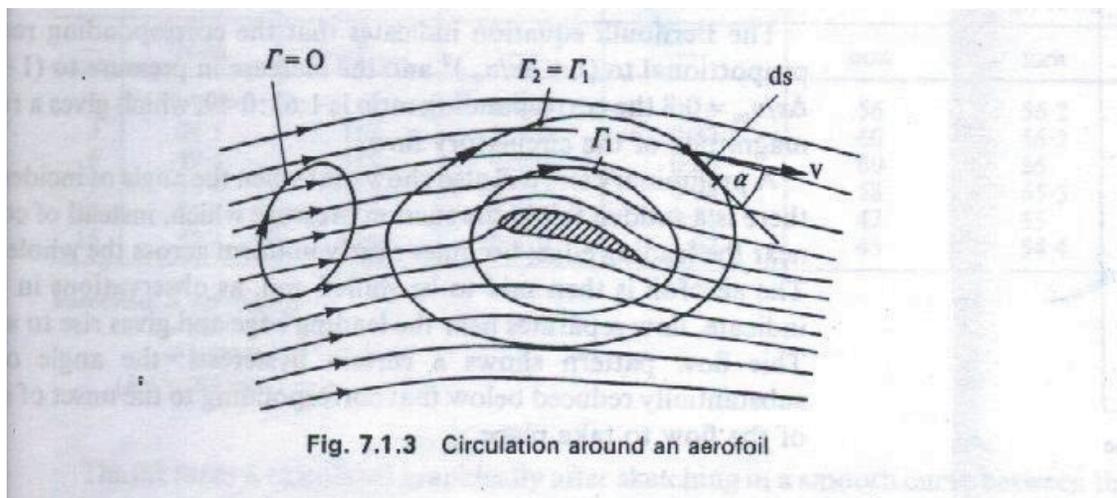
Al respecto debo decir que no existe un estudio relevante en el que se trate el comportamiento de una masa de aire libre, y menos uno que trate el comportamiento del aire libre actuando sobre una forma curvada como nuestras velas. El estudio de los fluidos se ha centrado principalmente a flujos de sistemas o sea a flujos que quedan definidos como una cantidad de masa fija e identificable cuyas fronteras lo separan de sus alrededores, pudiendo ser estas fijas o móviles; sin embargo no hay transferencia de masa a través de ellas. Las fórmulas que conocemos como las de Bernouillí, de Newton y de tantos otros investigadores como los que mencionan los expertos de la N.A.S.A, son aplicables plenamente a esos flujos encerrados en túneles de viento. La extensión en la aplicación, tal como se propone, al viento libre sólo puede significar una aproximación de lo que realmente ocurre en nuestras velas.

De todas formas aun cuando se pudiera desarrollar esas complejas ecuaciones diferenciales, con la ayuda de poderosos computadores, los resultados seguirían siendo aproximaciones. No nos vamos a meter en ese negocio, ni intentaremos hacerlo.

La explicación de la sustentación en nuestras velas es más sentido común, observación simple del comportamiento del viento y el conocimiento de algunos principios básicos de física, más que grandes y tortuosas fórmulas matemáticas, tal como intentaré mostrarles.

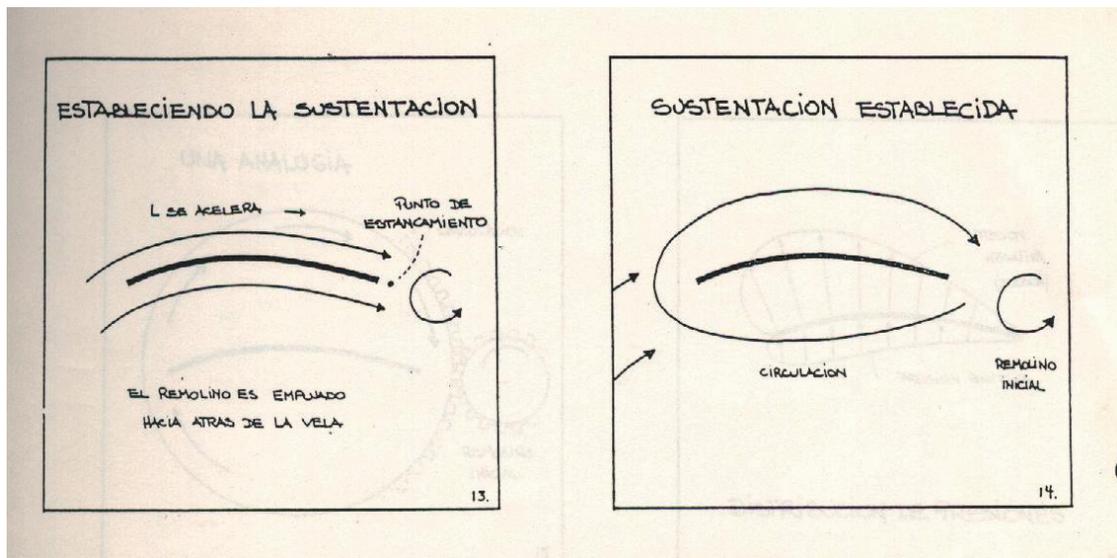
38.5.- Cuarta errada teoría.

Muchos de los actuales libros de navegación, incluso un instructivo para “Cursos de Vela” de una de las más prestigiosas fábricas de velas a nivel mundial, y otros de Mecánica de Fluidos, afirman que el viento realmente circula alrededor de un ala o de una vela, en sentido opuesto al flujo de barlovento o intradós, y a favor del flujo de sotavento o extradós en las alas. Textual: “este movimiento rotatorio de circulación existe de hecho: rodea la corriente de aire aproximadamente como es esbozado en el croquis siguiente”



Esta es una de las más sorprendentes, notables y erradas afirmaciones que se han hecho en torno a la generación de la fuerza de sustentación por sotavento de una vela o el extradós de un ala de avión.

Repitiendo esquemas de un autor norteamericano que publicó un libro sobre la generación del poder en las velas, los apuntes del curso técnico de una de las más famosas fábricas de vela muestran este croquis:



A continuación explican que: **”el remolino inicial ha iniciado una circulación general alrededor de la vela, mucho más que el lanzador de béisbol, al darle efecto circulatorio a la pelota en la ejecución del golpe. (Fig 14)**

“Una forma de visualizar como el remolino inicial trabaja, es pensar en él como un pequeño engranaje, para comenzar su movimiento rotatorio. Esta corriente circulatoria se combina con la corriente libre para producir la corriente resultante o total. La circulación desacelera la corriente libre de barlovento de la vela, causando una zona de alta presión y acelera la corriente de sotavento, causando una zona de baja presión”

Comentario:

Esta teoría explicada en detalle, en ese libro y en los apuntes del curso técnico de cómo se genera la sustentación, es una mala interpretación y una peor aplicación de un **método de análisis de las fuerzas** que actúan en un perfil aerodinámico, que describe la analogía que existe en una parte o zona del aire que rodea a un cilindro que está rotando. **Este es un método de cálculo** empleado por Prandtl e informado por el repertorio N° 116 de N.A.C.A., a principios del siglo pasado, para el cálculo de la fuerza de sustentación, de un perfil aerodinámico como ala de avión (aerofoil) muy delgado y plano, sólo para pequeños ángulos de incidencia y posteriormente extendido al cálculo de placas planas expuestas a flujos con escaso ángulo de incidencia. No es claramente una situación que ocurra físicamente.

En este sistema se aplica la fórmula de Bernouilli, que establece la conservación y la transformación de la energía en flujos de circuitos cerrados. De este modo si se logra conocer la velocidad en cualquier punto de un aerofoil expuesto a un flujo, se puede llegar a determinar la presión del flujo y a través de una integración, se puede lograr la presión sobre un área determinada. El problema consiste en encontrar la velocidad en un área determinada del aerofoil y para esto se recurre a determinar la velocidad del flujo alrededor de un cilindro en rotación expuesto al flujo y por analogía se determina la velocidad del flujo del aerofoil.

Esto claramente no es una teoría de generación de fuerzas, sino que es un método de cálculo que ha sido empleado posteriormente por los ingenieros en aeronáutica, que se basa en simular que el flujo gira alrededor de un cilindro o que el cilindro gira o tiene rotación en aire quieto. Si tomamos literalmente este concepto de cálculo, como erróneamente lo han tomado estos autores, nos llevaría a afirmar que el flujo del aire que pasa por el canal formado por foque y mayor es al revés del rumbo que siempre tiene, o sea de popa a proa, lo que es contrario a la realidad, como cualquier navegante puede haberlo comprobado, y como lo muestra la foto siguiente en el IORANA de mi amigo Carlos:

color



El flujo alrededor de una vela no circula, sólo pasa en un solo sentido por las dos superficies de una vela. Vea el tubo de aluminio con una cinta.

A este método se le llama también, *Mathematical Aerodynamics Description of Lift* (David Anderson & Scout Eberhardt, 2001). Se trata de una derivación de la teoría de la circulación de Kutta–Joukowski, con más variables que las empleadas por Prandtl, por medio de la cual se puede llegar a determinar el valor de la fuerza sustentación. Se le llama también “Teoría de Circulación de Formas Aerodinámicas”

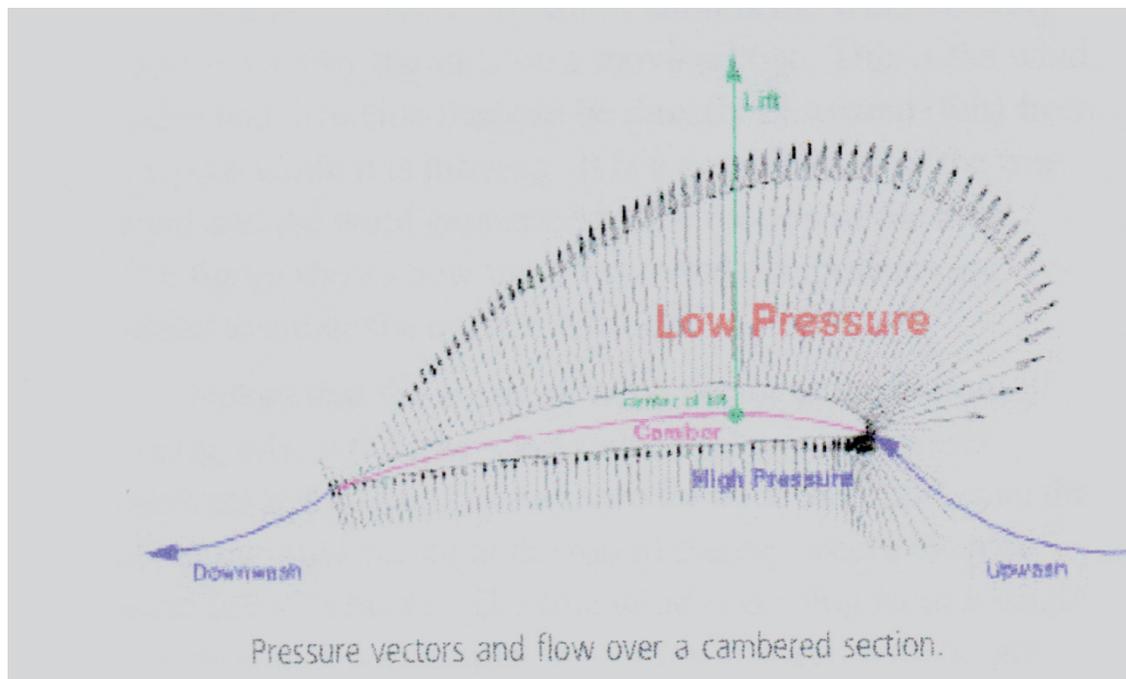
38.6.- Comentario adicional: La errada explicación del tema de la sustentación que entregan normalmente los textos de navegación a vela, tiene malas consecuencias que se pueden observar en las formas de vela, afinado y trimado que aconsejan algunos instructores que buscan diferencias de velocidad entre los costados de las velas tal como mencioné anteriormente.

Causa perplejidad ver algunos documentos que exponen a través de la Web famosos ingenieros que aportan sus conocimientos de aeronáutica a las más famosas fábricas de velas desde hace mucho tiempo y hasta la actual fecha, como el que muestro a continuación.

Sólo como un ejemplo, porque hay muchos, cito parte del currículum de un ingeniero en aeronáutica que trabajó para una importante fábrica de aviones, para el equipo de Dennis Conner y para las más famosas regatas de Norteamérica. Se ha especializado en velas y quillotes en donde ha aplicado tecnología y métodos que han sido desarrollados para la industria aeronáutica. Dice su currículum que ha asesorado varios proyectos de diseños de velas aplicando sus conocimientos basados en la dinámica de los fluidos.

Estamos hablando de personas famosas en el ámbito de las velas cuyos conocimientos han sido aplicados a la fabricación de nuestras velas.

En un artículo publicado, muestra un perfil aerodinámico, en que indica los campos de presión que se producen al insertarlo en un flujo de aire según la figura que reproduzco:



A continuación explica que textual, “se puede ignorar el espesor del “aerofoil” y se puede reducir a una delgada línea que define la curvatura del perfil aerodinámico” (línea roja). Dice: “la curvatura determina la cantidad de sustentación producida y fija el ángulo de ataque. Una vela no tiene espesor, solo curvatura. El costado de sotavento disminuye la presión (por aceleramiento del flujo) y el flujo por barlovento aumenta la presión (por desaceleración del flujo). La diferencia de presión a través de la forma curvada de la vela produce la fuerza que impulsa al bote”.

Al mirar el croquis que acompaña la explicación, se puede observar que las líneas de fuerza que aportan a impulsar a la embarcación están de la mitad del perfil hacia adelante. El resto de la vela hacia atrás sólo aporta abatimiento, freno y escora. Con estos antecedentes, ¿Qué sentido tiene usar una vela como esa, cuya mitad impulsa y el resto frena?

Para la aeronavegación este puede ser un excelente perfil, porque lo que ellos buscan es alzamiento, es decir una fuerza vertical en contra de la fuerza de gravedad, o que tenga la máxima componente perpendicular al rumbo, porque la impulsión en el sentido del rumbo la resuelven con un motor. Los planeadores, alas delta, y cualquier vuelo a vela usan la fuerza de gravedad como medio de impulsión, en cambio nuestras embarcaciones a vela requieren necesariamente que la fuerza creada por el viento tenga una componente en el sentido del rumbo elegido.

Para nosotros es muy claro, en una ceñida o en un través, que si sólo tenemos una fuerza perpendicular al rumbo pretendido, nuestra embarcación no se mueve, salvo en abatimiento y escora, pero hacia adelante **será ¡cero!**

Para mayor abundamiento, podemos decir que en la aeronavegación, bajo determinadas condiciones algunos perfiles empleados en las alas de aviones tienen fuerza de alzamiento cuya componente de impulsión es hacia atrás, o sea que provocan freno en la totalidad del ala, y sin embargo igual permanecen volando gracias a un poderoso motor.

No es correcto, por tanto afirmar que un perfil con espesor, como el que se muestra en el croquis trabaja igual que una vela que no tiene espesor. El alzamiento, el ángulo óptimo de incidencia, el rango en que el alzamiento permanece constante, el efecto de choque que provoca el volumen sobre el flujo, el arrastre que generan, el punto de pérdida de sustentación y variación en el centro de empuje, entre muchas otras cosas, establecen una enorme diferencia entre ambos perfiles.

Pero ahí está, publicada para que los dedicados a la navegación a vela la digieran.

Sin embargo debo decir que parte de esta afirmación es correcta. Efectivamente se provoca una aceleración del flujo en la parte superior delantera del perfil aerodinámico tal como se indica en la figura, lo que provoca, en esa parte acelerada, una pequeña disminución de la presión, pero, lo que no explica el experto en aerodinámica, es que tanto la explicación de sustentación basada en diferencias de presión, del perfil aerodinámico del croquis anterior, sólo ocurre cuando ese perfil está en el interior de un túnel de ensayo y expuesto a un flujo de mucha velocidad. También omite que también se provoca una aceleración de la velocidad del flujo en la parte posterior del perfil, que tiende a provocar otro efecto adicional en el perfil aerodinámico, que se contrarrestaría con la presión directa del flujo por la cara de barlovento que tiende a provocar un giro.

Tampoco aclara que en un perfil como el del croquis, se provoca esa generación de fuerzas, y en el sentido que se indica, sólo para un determinado ángulo de incidencia y para una determinada velocidad que es superior a 100 kilómetros por hora. A una velocidad menor, con el ángulo de incidencia que empleamos en nuestras velas, todo cambia y este ejemplo, para señalar lo que sucede en nuestras velas es simplemente un error.

Debería explicar además que para disminuir la presión dentro de un túnel de viento no necesita poner un perfil aerodinámico, sólo basta con disminuir la sección del túnel, como un tubo Venturi, por donde las partículas de aire se ven obligadas a pasar por una menor sección, obligadas a acelerarse, lo que provoca una disminución de la presión en el angostamiento y una alta presión en la parte anterior al angostamiento, si el circuito es cerrado. Poner un perfil en un túnel de prueba equivale a provocar un angostamiento o estrechura en la sección del túnel de ensayo.

Reitero que cuando el viento actúa sobre el mismo perfil al aire libre, el viento no está obligado a pasar por una menor sección, por lo que el aire tampoco tiene la obligación de acelerarse, por lo que la presión tampoco disminuye.

¡Esa es una enorme diferencia!

Actualmente existen túneles de viento de mayor sección y de menor velocidad de viento, como el de la Universidad de Southampton en Estados Unidos, y otros en España, que disminuyen el efecto mencionado, pero no lo hacen desaparecer.

Muchos son los artículos que se publican a diario, referidos a la forma que deben tener nuestras velas para la generación de fuerzas, y que como el ejemplo entregado anteriormente, ha llevado a las erradas definiciones del fenómeno de la sustentación y por lo tanto al diseño y fabricación de velas.

Esta osada afirmación que van en contra de lo que por años hemos escuchado de los más famosos autores de libros sobre velas, tiene una explicación basada en la génesis del estudio aplicado de los fluidos, que ya mencionamos al inicio de estos apuntes.

Muchos de los fenómenos físicos conocidos, que involucra la presencia de un fluido actuando sobre un perfil aerodinámico, fueron analizados con rigor por miles de investigadores y empresas destinadas al desarrollo de la aeronáutica a principios del Siglo Veinte. Era la época del explosivo desarrollo de la aeronavegación y la fabricación de aparatos voladores útiles.

Los primeros textos sobre teoría de la vela escritos alrededor de 1925 recogen estas experiencias aeronáuticas como plenamente válidas para nuestras velas, tal como se explica al inicio de estos apuntes.

Los actuales textos siguen repitiendo fotos y esquemas de esos descubrimientos de hace más de 100 años que fueron orientados a otro propósito. Nadie en aquella época se interesó en el efecto de flujos de aire de poca velocidad, sobre perfiles unidimensionales hechos con telas flexibles, como nuestras

velas. Era una pérdida de tiempo en aquella loca carrera de desarrollo de los aviones.

Aun vemos libros mostrando perfiles de alas de avión en nuestros libros de navegación para justificar la falta de investigación sobre los fenómenos físicos del viento sobre una vela.

Debo decir que la generación de la fuerza de sustentación depende, entre otros factores, de la velocidad del viento, y para perfiles flexibles como nuestras velas la sustentación útil desaparece cuando el viento es mayor de los 35 nudos, o cercano a esa velocidad, dependiendo del estado de agitación molecular del aire en movimiento. Después de esa velocidad sólo actúa la presión directa sobre la cara de barlovento mientras sotavento genera gran arrastre producto de flujos adversos.

En los perfiles aerodinámicos como alas de avión con flujos superiores a 60 nudos se genera sustentación por el extradós en la primera parte curvada del perfil, y disminuye hacia el borde de salida, porque el flujo adherido está regido por el número de Reynolds y a esa velocidad el flujo se desprende y el perfil entra en pérdida de sustentación por sotavento.

Un avión vuela a velocidades superiores, por la presión directa del viento en el intradós del ala y por la creación de una zona de baja presión o vacío por el extradós del ala y del fuselaje. A las velocidades que vuela un avión la sustentación generada por la primera parte del extradós, no justifica matemáticamente la fuerza que un ala logra para vencer la gravedad. La causa es otra, tal como la reconocen los investigadores en temas aeronáuticos.

Ese tema está fuera del propósito de este libro, pero sin embargo estableceremos que el flujo de aire actúa de diferente forma a bajas velocidades y a altas velocidades sobre un mismo perfil expuesto. Es una lógica consecuencia de la aplicación del número de Reynolds, que fue descubierto en 1904 y era de toda lógica su aplicación a las leyes que rigen los flujos sobre nuestras velas y casco.

Los ensayos efectuados para miles de perfiles bidimensionales destinados a alas de avión, se hicieron en túneles de viento y se analizó si servían eficientemente para el propósito buscado, o sea fabricar aviones capaces de llevar carga, con seguridad, resistencia y estabilidad. El Número de Reynolds no fue considerado para nada, salvo como testimonio para comparar el resultado del ensayo con otros perfiles parecidos. En nuestras velas que funcionan a bajas velocidades, su conocimiento y aplicación es fundamental.

A bajas velocidades el flujo es capaz de seguir adherido a la superficie del objeto generando sustentación y arrastre por rozamiento. A altas velocidades el flujo está completamente desprendido de la superficie del objeto incluso de un ala de avión, y no genera sustentación, como se entiende en la navegación.

Una piedra que se introduce lentamente en el agua provoca un efecto distinto a otra que cae con velocidad en el agua. La segunda deja tras de sí un volumen vacío (sin agua) que prontamente es llenado por el agua que se encuentra bajo presión. Para llenar ese espacio vacío, el agua de todos los costados corre a llenar ese volumen.

A altas velocidades, el aire es descompensado estructuralmente por el impacto. En el punto de ataque del objeto se genera una zona de alta presión, y a sotavento se provoca una especie de burbuja, un espacio o volumen de baja presión. El aire tiene la capacidad de restablecer los espacios vacíos del mismo modo que el agua vuelve a llenar un espacio que deja una piedra al caer sobre su superficie y lo hace generando turbulencias.

La sustentación en nuestras velas se produce en el primer caso, o sea cuando el flujo recorre en toda la superficie de sotavento de la vela sin generar vacío. A altas velocidades el flujo sólo actúa sobre las caras expuestas de nuestras velas por acción directa, dejando a sotavento sólo turbulencias que poco o nada aportan a la generación de fuerzas, pero sí al arrastre o freno al desplazamiento.

Este tema por su importancia será abordado más adelante.

Pero vuelve la pregunta: ¿cuál es la forma ideal de una vela?

La historia de las publicaciones en este sentido nos muestra que la respuesta no es sencilla, porque existen muchas formas ideales que son eficientes para cada condición de viento, oleaje, peso de la embarcación estabilidad del rumbo, etcétera.

Muchos diseñadores navales trabajan en este sentido con varios programas para computadores, pero no podemos entender ni definir la forma de una vela, ni los computadores podrán hacerlo, si no conocemos el origen o la forma en que se genera la importante fuerza de sustentación por sotavento de una vela.

Si los programas de diseño de velas, para funcionar al aire libre, están basados en diferencias de presión, el basurero será su mejor destino.

39.- ¿Cuál es la importancia de la sustentación?

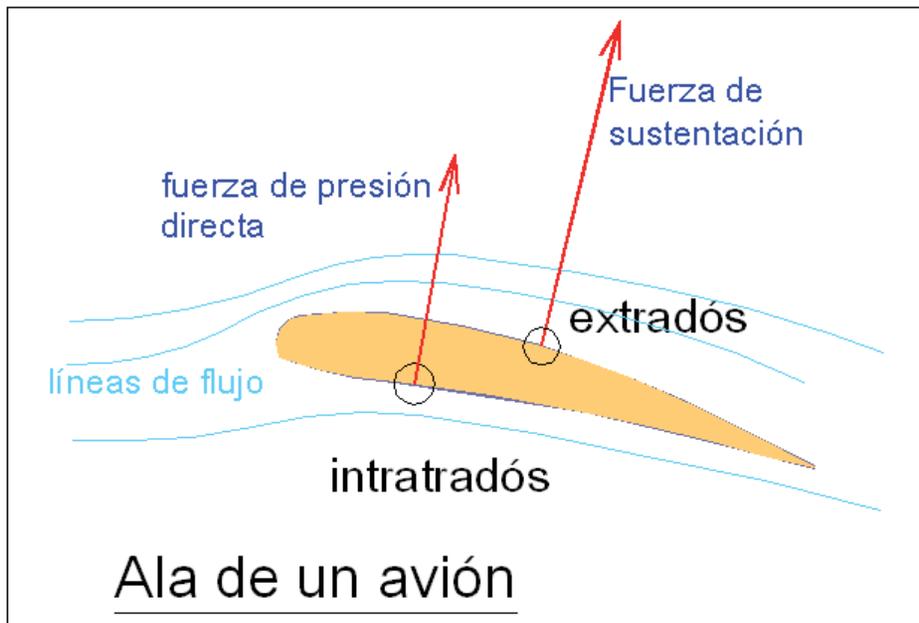
La sustentación es una importante fuerza que se puede generar por sotavento de una vela expuesta a un flujo con un ángulo adecuado y con una forma que permita mantener el flujo adherido.

La sustentación a determinadas velocidades del viento, probablemente puede llegar a ser más de la mitad del motor de un velero, pero lamentablemente es una fuerza inestable, voluble, que desaparece o se debilita con nuestras distracciones, con una mala forma de vela o con una errada incidencia de viento.

Saber generarla y mantenerla es tarea de toda la tripulación para tener una navegación estable, para mantener el equilibrio en un rumbo determinado y obtener velocidad cuando se pretende ganar regatas.

En la aeronavegación, llaman indistintamente **sustentación o alzamiento** a la suma de fuerzas perpendiculares al rumbo del flujo o del avión, que se producen por acción directa del flujo por el intradós (parte de abajo) más la de sustentación que provoca la forma curvada de la superficie superior del perfil aerodinámico o de las alas (extradós) que están expuestas a un flujo de aire. Necesariamente estas alas necesitan tener una inclinación o ángulo de ataque respecto al rumbo o desplazamiento del avión, para que la primera de estas fuerzas se manifieste.

En la navegación hacemos la necesaria diferenciación entre ambas fuerzas, llamando **sustentación** a la fuerza generada por sotavento de una vela y **de presión o acción directa** a la generada por barlovento, tal como se indica en el croquis.



La suma de ambas fuerzas se puede graficar como una sola que se llama fuerza resultante, y que se aplica en el centro de empuje o centro de presión. La llamaremos alzamiento como en la aeronavegación.

La fuerza de acción directa por barlovento en las velas semi-triangules que se emplean actualmente, se aplica en un punto cercano al 30% medido desde el punto de ataque y **la fuerza de sustentación** varía de dimensión y de punto de aplicación constantemente de acuerdo a la variación de la incidencia y velocidad del flujo, y de la forma de la vela. La inestabilidad de la fuerza de sustentación provoca permanentemente la modificación del centro de presión en nuestras velas.

La sustentación es una veleidosa fuerza que nos abandona apenas cometemos el menor error. Eso provoca cambio en el centro de presión que debemos corregir con el timón y sabemos que eso es freno.

Nadie puede ganar regatas con sólo el aporte del viento por barlovento que hemos llamado de acción directa, salvo en aquellas oportunidades en que no es posible manejar la sustentación, con las velas que disponemos, por exceso de viento. En condiciones normales, necesitamos a la fuerza de sustentación para lograr mayor velocidad y potencia.

Cuando se tiene claridad sobre este concepto y más aun cuando se entiende como se logra la máxima fuerza de sustentación en nuestras velas al aire libre, para cada velocidad de viento, muchas de las recetas, que entregan los libros de navegación, y los destacados y experimentados navegantes, y de los muchos ingenieros en aeronavegación, comienzan a ser sólo aproximaciones. Verán que estos consejos o recetas referidos a la forma de una vela, se basan más en experiencias de laboratorio, ajenas a la realidad de las velas, y a experiencias ajenas, que al conocimiento certero o informado de lo que sucede cuando nuestras velas están en acción al tomar contacto con una masa de aire que se desplaza libremente.

El propósito de explicar claramente en qué consiste y como se genera la fuerza de sustentación por sotavento de un perfil aerodinámico es precisamente acercarnos a las formas ideales de vela en toda su altura, para cada condición de viento, pero sin recetas o tabulaciones. Hará que busquemos formas que antes no sospechábamos tanto en la vela, en la interacción de foque y mayor, como en el casco y sus apéndices. La fuerza de sustentación, aparte de ser la que eventualmente más puede aportar a la poten-

cia, para un rango de viento, define la profundidad de la vela, la posición de esa profundidad, y también cambia el centro de presión de las velas y por lo tanto el equilibrio del bote. Aprender a generarla y a aplicarla en provecho del rumbo y la velocidad es de suma importancia en la navegación, y también para los que navegan en el aire.

Los que antes buscaban en las velas una diferencia de presión, hoy deberán buscar formas de velas que generen flujos armónicos, para cada condición de viento y mar.

En los comienzos de la aeronavegación, a principios del siglo XX, cuando los ensayos de vuelo eran a bajas velocidades, la sustentación por sotavento o extradós en las alas de los aviones, era desconocida, y comenzaron a sospechar de su existencia, porque se rompía la tela del extradós cuando tomaban más velocidad que la normal. Debieron reforzar ese costado y analizar la importancia de la sustentación por el extradós, según el ángulo de incidencia y forma del ala.

Un libro de aeronavegación del año 1930 muestra el aporte del extradós al alzamiento total de un airfoil N.A.C.A. 69, ala comúnmente empleada en ensayos.

Ángulo de incidencia en grados, % de contribución

0°	100%
5°	74%
10°	68%
15°	70%
20°	62%

Valores extractados del informe N.A.C.A. N° 150

Hago notar que el alzamiento en este perfil de ala, cuando el ángulo de incidencia del viento es de cero grados respecto a la cuerda, corresponde 100% a la sustentación generada por el extradós, y a medida que aumenta el ángulo de incidencia, el intradós comienza a aportar fuerza por acción directa del viento, para el alzamiento.

En nuestras flexibles velas eso jamás ocurre, porque son flexibles y con cero grados respecto a la cuerda pasan a ser banderas.

El arrastre aumenta junto con el aumento del alzamiento, y continúa ascendiendo incluso cuando la sustentación desaparece.

La modificación que más afecta a las características de un aerofoil rígido es la que se practica en la curvatura superior. En un perfil delgado el alzamiento comienza a aumentar en la misma medida que aumenta la curvatura, hasta que llega a un rango de 18 a 25% de la cuerda. Más allá de esa máxima curvatura (o profundidad en las velas) el resultado es “la pérdida de la sustentación”. Para ese perfil determinado.

Comentario: El perfil N.A.C.A. 69 tiene un espesor casi un 20% de la cuerda y es entendible que toda la fuerza vertical o de alzamiento se produzca cuando el ángulo de incidencia es cero respecto al flujo, porque no hay aporte de la presión directa por el intradós. Este cuadro no indica cantidad de alzamiento.

La publicación de este cuadro que revela el aporte de del extradós al alzamiento en un ala de

avión probablemente alentó a los autores de libros de navegación a afirmar que la sustentación es cuatro veces superior a la fuerza que genera una vela por barlovento. ¿Un mito menos?

Como puede observarse, con 20% de profundidad, el perfil **N.A.C.A. 69** tiene una forma muy convexa para lograr generar una fuerza importante por presión directa. Para la velocidad de ensayo, tema siempre olvidado en estos informes, la sustentación fue óptima. Para otra velocidad de flujo, los resultados son diferentes, y claramente no podemos tomar un ensayo, de uno de los miles de perfiles aerodinámicos que existían, a una velocidad determinada, como una norma general que pueda ser aplicada a nuestras velas.

Destaco que nuestras velas producen sustentación por tracción de la masa de aire que pasa adherida por sotavento y por la acción directa del flujo por barlovento. Sin embargo provoca enorme envidia no saber con exactitud cuanta de esa fuerza la proporciona uno u otro costado como el ejemplo recién mostrado.

Me dirán que todos los textos indican esos valores, y eso puede ser verdadero, pero esos valores han sido obtenidos en túneles de viento por la vía de las diferencias de presión, que son válidas y verdaderas sólo para ese túnel de viento y para altas velocidades de viento y no para cuando estamos navegando al aire libre con una vela y no con un ala de avión, con vientos no superiores a 30 nudos.

El aporte de la sustentación es muy importante, pero no sabemos exactamente el valor de ese aporte a distintas velocidades y para qué forma de vela. El aporte de la coqueta sustentación seguirá siendo un misterio.

Es un grueso error pensar que las diferencias de presión obtenidas en un circuito cerrado son aplicables al mismo objeto en sistema abierto.

Todos los perfiles ensayados y cuyos registros están en los informes de esos laboratorios, fueron hechos en túneles de viento, y su valor es sólo referencial.

Cuando navegamos con un viento aparente de 10 nudos, la diferencia de velocidad del flujo de un costado de la vela no es diferente al del otro lado y si existiera una diferencia esta sería mínima. En un sistema abierto no es aplicable ni la ley de conservación de la masa ni los principios de Bernouilli. Y aunque yo estuviera equivocado y se pudiera aplicar obviando algunas condiciones, la diferencia de presión por diferencia de velocidad es nula o mínima y por lo tanto la diferencia de presión entre los costados también es mínima o cero y sin embargo nos movemos a pesar del enorme freno que nos pone el agua.

Definitivamente, la sustentación que nuestras velas generan por sotavento se debe a otro fenómeno más relacionado con adherencias que a diferencias de presión.

40.- Generación de la fuerza de sustentación.

La comprensión del fenómeno de la sustentación a bajas velocidades de viento requiere que entendamos o manejemos algunos conocimientos básicos relacionados con la física, como los que se enumeran a continuación:

- 1.- Compresibilidad del aire.
- 2.- Primera ley de movimiento de Newton,
- 3.- Tercera ley de Newton y fuerza centrípeta,
- 4.- Fuerza centrífuga,
- 5.- Cantidad de movimiento de una masa
- 6.- Adherencia.

40.1.- Breve repaso

1.- Compresibilidad del aire

Muchos textos de aerodinámica definen que el aire libre es incompresible. Otros textos, como Sail Power de Wallace Ross, definen que el aire es incompresible a bajas velocidades, exactamente a menos de 126 millas por hora o sea a 234 kilómetros por hora.

Por convención, entre los estudiosos de los fenómenos relacionados con el aire, se define que **el aire es incompresible**, cuando por acción de cualquier fuerza externa provoca un cambio de volumen de una masa de aire menor al 2% (dos por ciento) de su condición normal. Otros establecen el 2% de la densidad.

2.- La primera ley del movimiento de Newton, establece que un objeto en movimiento que se desplaza en línea recta mantiene su trayectoria si no interviene a **una fuerza que altere su trayectoria**. El viento es una masa de aire que se desplaza y cuyo curso alteramos con nuestra vela.

Un futbolista que tiene que cabecear una pelota entiende claramente lo que debe sacrificar su cráneo para cambiar el rumbo de esa pelota. Este ejemplo explica claramente lo que hace el costado de barlovento de la vela con la masa de aire que llamaremos flujo de aire que venía en una dirección y tuvo que ser desviada para captar su energía.

Sabemos que por sotavento el flujo también es desviado de su trayectoria. Se debe sin duda a la acción de una fuerza.

3.- Fuerza centrípeta, fuerza dirigida hacia un centro, que hace que un objeto se desplaza en una trayectoria circular. Por ejemplo, si atamos una pelota a una cuerda y la hacemos girar en círculo a velocidad constante, la pelota se mueve en una trayectoria circular porque la cuerda ejerce sobre ella una fuerza centrípeta. Si se cortara la cuerda de repente, la pelota dejaría de estar sometida a la fuerza centrípeta y seguiría una trayectoria en línea recta. Eso es cierto si no existiera la fuerza de gravedad que nuevamente modifica el rumbo de su trayectoria.

La fuerza centrípeta **F_c**, que debe aplicarse a un objeto de masa **m** para que se mueva en una trayectoria circular de radio **r** con una velocidad constante **V** es:

$$F_c = \frac{m \times V^2}{r}$$

4.- fuerza centrífuga y tercera ley de Newton.

Cuando se aplica una fuerza centrípeta sobre un objeto de masa **m**, la **tercera ley de Newton** establece que para que exista equilibrio debe actuar una fuerza de reacción de igual magnitud y sentido opuesto. **Principio de acción y reacción**. En el caso de la pelota que gira amarrada con una cuerda, la reacción es una fuerza dirigida hacia el exterior, la llamamos **Fuerza Centrífuga**, que la siente la mano que sujeta la cuerda.

5.- Cantidad de movimiento de una masa.

Masa es la propiedad intrínseca de un cuerpo, que mide su inercia, es decir, la resistencia del cuerpo a cambiar su estado de movimiento. La masa no es lo mismo que el peso, que mide la atracción que ejerce la Tierra sobre una masa determinada.

La masa que está en movimiento o que se desplaza a una determinada velocidad posee una cantidad de energía (energía cinética) Esa masa en movimiento tiene la capacidad de generar trabajo mecánico, equivalente al trabajo que debe realizar una fuerza en dirección opuesta al movimiento, en un determinado tiempo, para llevar la velocidad a cero.

La cantidad de movimiento o inercia, se define como el producto de la masa por la velocidad.
= **Masa x Velocidad**

Y la energía que posee esa masa en movimiento es:

$$E = \frac{1}{2} \text{ masa x Velocidad al cuadrado.}$$

6.- Adhesión o adherencia

Cohesión, es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia, mientras que **la adhesión** es la interacción entre las superficies de distintos cuerpos debido a fuerzas electromagnéticas entre las moléculas de distintos cuerpos.

Tal como explicamos en la primera parte de estos apuntes, los fluidos tienen la propiedad de adherirse a cualquier objeto formando una delgada capa que en términos científicos se llama “capa límite”.

Usted preguntará ¿porqué el aire debe adherirse a la superficie de sotavento de la vela como si se tratara de un chicle que pisamos y se pega a la suela de nuestro zapato?

Cuando una bola golpea tangencialmente a un cilindro como un palitroque, después de imprimirle un movimiento o botarlo, sigue su camino con el nuevo rumbo. Sin embargo si en lugar de la bola actúa un chorro de agua o de aire, que actúa tangencialmente, se produce un efecto adicional de adherencia.

La **adherencia** es un fenómeno poco entendible para el común de las personas, sin embargo convivimos con este efecto permanentemente sin notarlo. Los fluidos, llámese agua o aire se adhieren a la superficie de todos los cuerpos sólidos y líquidos, y en movimiento adquiere un delgado espesor. Nuestra cara y nuestra ropa están permanentemente cubiertos por una capa límite de aire. Si usted trabaja en un ambiente en que el aire tiene un determinado olor, después de abandonar el lugar, el aire con ese olor permanece adherido a su cuerpo y a su ropa por un período de tiempo. Si llega a su casa sin airearse previamente, probablemente descubran de donde viene. ¡Cuidado!

Para no entrar en complicadas explicaciones matemáticas y físicas para dimensionar dichas fuerzas de adherencia, ya que no estoy capacitado ni conozco a quien pueda hacerlas, es preferible recurrir a un par de simples experiencias:

Si usted vierte lentamente el agua inclinando una taza, verá que parte de ésta no cae directamente sino que insiste en adherirse al costado externo de la taza desafiando a la fuerza de gravedad.



Con el aire ocurre exactamente lo mismo pero el aire tiene mayor adherencia que el agua, por tener mayor viscosidad cinemática y menor masa. Recurriremos al secador de pelo para verificar lo dicho.

Pido disculpas por el “laboratorio” y por los instrumentos empleados, pero tiene la ventaja que ustedes pueden jugar como yo sin dificultad, para verificar lo que les explico.

En este ejemplo se trata de un receptáculo de plástico puesto invertido en el suelo, al que se le dirige tangencialmente el chorro de aire del secador. Para verificar si la adherencia se manifiesta, puse una aguja con un trozo de cinta de cassette, tal como se muestra en la foto siguiente.

El secador está fijo a 5 centímetros del suelo con la mínima velocidad en el costado opuesto a la cinta. Se pudo verificar que el “cataviento” acusó el flujo adherido a la superficie del receptáculo.

color



Otro ejemplo relacionado:

Tome un espejo o un trozo de vidrio recién lavado (ojalá sin filos) y póngalo sobre una superficie absolutamente lisa y mojada, como la superficie de un mueble de cocina (ojalá sin la presencia de la dueña de casa) o simplemente sobre otro vidrio de mayor dimensión. Si trata de levantarlo verticalmente verá que es difícil hacerlo, porque está adherido molecularmente por el agua, sin embargo puede moverlo horizontalmente prácticamente sin esfuerzo, porque la cizalladura o esfuerzo de corte es mínimo. Este mismo efecto se manifiesta en la superficie de nuestra vela con la masa de aire. Esta masa de fluido, al igual que el vidrio, se puede desplazar prácticamente sin esfuerzo por sobre la superficie lisa del receptáculo, del vidrio o de la vela y mantenerse adherido a ella.

Nota: traté de hacerlo con una copa de cristal, pero descubrí que los fabricantes de copas conocen este fenómeno y han pensado no dejar una superficie plana en la base. Creo que si las fabricaran planas, no podrían usarse en superficies lisas y mojadas sin botar el contenido al tratar de levantarlas. Agréguese además un concepto de estabilidad. Sin embargo al poner la copa al revés sobre una superficie plana y mojada, la copa se deslizó como si estuviera flotando. El aire atrapado presentó menos resistencia al corte.

Los estudiosos en este tema pulieron dos superficies metálicas hasta que quedaron absolutamente planas. Al ponerlas en contacto se adhirieron de forma tal que no podían ser separadas. El aire y el agua pueden lograr esa superficie complementaria y acomodarse a cualquier forma de superficie, plana como una mesa o curva como una vela, y deslizarse sin mas problema que el esfuerzo de corte que se produce entre la capa límite de aire o de agua y la masa que se desplaza y que genera la resistencia o arrastre por rozamiento.

La capa límite de un fluido se adhiere sobre la placa metálica pulida de la misma forma que lo hace la otra placa pulida que mencionamos recientemente para el experimento, y de acuerdo a la viscosi-

color

dad que posea el fluido, permite que manteniéndose adherida, pueda desplazarse por sobre la superficie sin más resistencia que el esfuerzo de corte entre aire-aire o agua-agua como en el caso de un casco de una embarcación en el mar.

La capacidad de adherencia de un adhesivo es algo que la industria ha tenido que estudiar para comercializar el producto, pero la capacidad de adherencia de los fluidos como el aire o el agua a otro cuerpo, es un importante tema de tarea para los investigadores y científicos.

Lleve usted a cabo esta otra experiencia para entender el comportamiento de un fluido en movimiento al tomar contacto con una superficie curva: tome un cilindro liso, ojalá muy liviano o un depósito plástico (basurero plástico chico) y expóngalo a un chorro de agua vertical de una manguera que acceda tangencialmente, como muestra la figura. Si la velocidad de salida es poca, todo el flujo se mantendrá adherido a la superficie del cilindro hasta más allá de la vertical. Si la velocidad de salida es mucha, al inicio todo el flujo se mantiene adherido, pero más hacia abajo una parte del agua se mantiene en contacto y otra parte del flujo trata de seguir la trayectoria normal, separándose de la superficie del cilindro. Este último tiende a seguir el flujo libre, sin embargo está unido al resto del flujo que permanece circulando adherido a la superficie curva. Analice usted, que es lo que sucede con el flujo de agua que está entre el flujo libre y el flujo adherido.

Siga jugando y ahora incline el cilindro respecto a la incidencia del chorro, y podrá apreciar la enorme capacidad de adherencia del agua sobre el cilindro, que es capaz de seguir increíbles rumbos diagonales.



En ambos casos vea cual es la tendencia del movimiento del cilindro al recibir el flujo. Con algo de sensibilidad notará que el chorro tiende a atraer horizontalmente al vaso en lugar de repelerlo, hasta un cierto límite, y un aumento del peso vertical que representa al arrastre.

Respecto a esto, sabemos que el agua es casi incompresible y de acuerdo a lo indicado en la primera parte de estos apuntes, es varias veces más viscosa que el aire, o sea que se adhiere muchas veces más que el aire a una superficie curvada. Sin embargo el agua tiene 830 veces la masa del aire, por lo que en una superficie curvada el aire puede recorrer una mayor distancia que el agua, adherida y sin separarse.

La pregunta surge de inmediato: ¿Que sucede con el flujo de aire que se encuentra entre el flujo libre y el que permanece adherido a la superficie del cilindro?

La respuesta es la clave de lo que sucede en nuestra vela y también en nuestro casco: el aire y el agua que se desliza en contacto con la capa límite, al cambiar de rumbo, por inercia genera una fuerza de tracción sobre la frontera de la capa límite que tiende a separarse del objeto que la contiene.

41.-¿Como se explica el fenómeno de la sustentación?

Una vela expuesta al viento en posición de ceñida o a la cuadra o a un largo, divide el flujo de aire en dos zonas: Por barlovento el viento actúa por presión directa y la cantidad de fuerza captada depende de:

- La proyección de la superficie expuesta,**
- De la velocidad, al cuadrado,**
- De un coeficiente por forma,**
- De la cantidad de masa de aire desviada y**
- Del ángulo de desviación.**

Pero ¿Qué sucede por sotavento de la vela? El normal de las personas a quienes he consultado, me ha contestado que el flujo de aire por sotavento sigue recto tal como venía antes de encontrarse con la vela.

La respuesta correcta nosotros ya la sabemos. **¡El flujo de aire que accede por sotavento se desvía y continua su desplazamiento adherido a la superficie de la vela en el mismo radio de giro que lo hace el flujo de barlovento!**

Esto no quiere decir que su deseo era cambiar el rumbo que traía, y si lo hizo fue porque una fuerza misteriosa, que nació de la superficie de la vela, lo obligó a tomar otro camino. La masa de aire que se desliza por sotavento está adherida a la superficie de la vela, la que de acuerdo a la curvatura que tiene, obliga al flujo a seguir esa trayectoria. Esta misteriosa fuerza tiene su explicación en las propiedades de **adherencia** de los fluidos ya explicado con la superficie de la vela y su permanencia depende de la inercia de la masa del fluido o de la curvatura de la superficie a que es expuesto.

La masa de aire quería seguir el rumbo que traía el flujo libre antes de encontrarse con esa pegajosa cara de sotavento. De acuerdo al gran maestro Newton, para modificar el curso de la masa de aire es necesaria la aplicación de una fuerza. La fuerza que desvía al flujo de la cara de sotavento de la vela, genera una fuerza exactamente igual y en sentido contrario, que se llama fuerza de reacción, que tira la tela de la vela por sotavento creando nuestra **fuerza de Sustentación.**

Basados en estos conceptos es que en estos apuntes **definimos la fuerza de sustentación sobre la cara de sotavento de una vela, como la reacción a la fuerza de adherencia de una masa de aire que se desplaza en contacto con una superficie curva.**

Las fuerzas que generan la sustentación son básicamente:

- Las fuerzas inerciales del flujo que cambia de rumbo,
- Las de adherencia del aire sobre la superficie del sólido,

La dimensión de la fuerza de sustentación, depende básicamente de:

- La cantidad de flujo desviado o masa de flujo desviado y
- Del ángulo de desviación a que el flujo es sometido o radio de giro y de la velocidad.

Varía además con la rugosidad de la cara del sólido que provoca el cambio de rumbo y en menor escala, con temperatura y viscosidad del fluido.

La fuerza de sustentación disminuye cuando:

- El ángulo de desviación es poco (vela plana) o
- Cuando el caudal disminuye por poca velocidad

La fuerza de sustentación aumenta cuando:

- El flujo es de gran caudal,
- Cuando es desviado en un gran ángulo (vela con profundidad) pero dentro de un límite

42.- Stall o pérdida de sustentación

Se produce stall o pérdida de la sustentación cuando las fuerzas inerciales del flujo superan a las de adhesión o viscosidad del fluido, produciéndose un desprendimiento del flujo de la superficie de la vela y estableciéndose en esa zona de sotavento un sistema de turbulencias.

Las causas de la separación son:

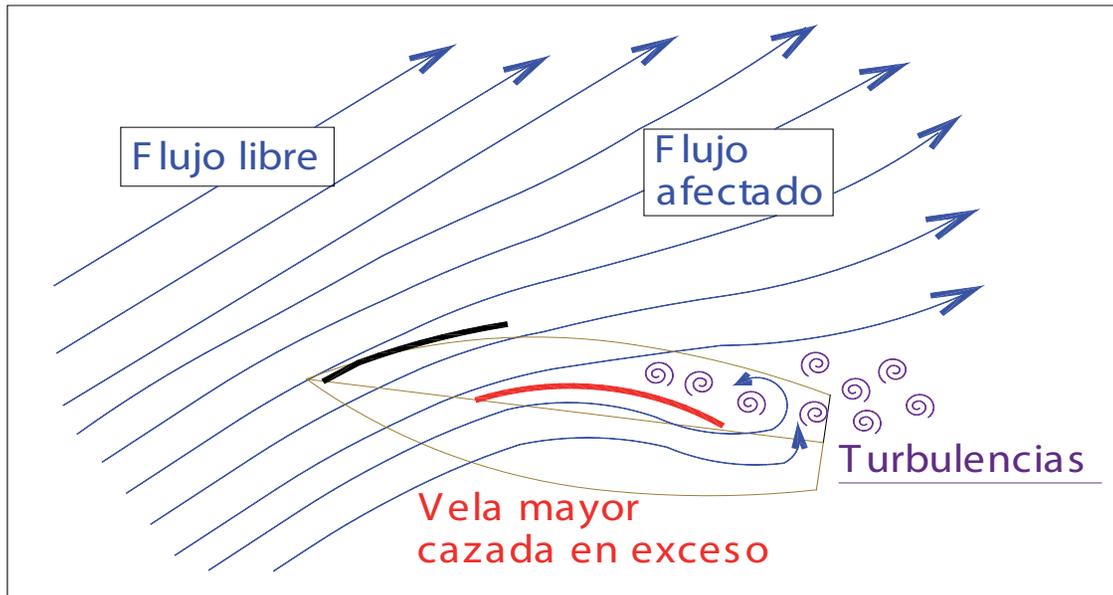
A.- El exceso de velocidad del viento.

B.- Exceso de curvatura que provoca la profundidad de la vela.

C.- Vela con cuerda muy larga, o sea, vela muy ancha. La cuerda a que me refiero es la que el viento traza en su recorrido por la vela. En una vela con exceso de twist o muy inclinada, el viento recorre el paño en forma diagonal a la botavara o a la superficie de la cubierta, y su permanencia sobre el paño es mayor a la que traza si en bote no tiene escora.

D.- Otra causa de stall es la mala posición de la vela respecto a la incidencia del viento. Esto hace disminuir la sustentación hasta que desaparece, mientras que la de presión directa comienza a aumentar hasta un cierto límite. Esta fuerza directa hará aumentar la escora y el abatimiento en desmedro de la

velocidad. Buscar el punto justo en que nuestras velas “tiran” al máximo en el sentido del rumbo que pretendemos, es tarea del afinamiento, del trimado, y de la atención del capitán, que debe ser permanente mientras navegamos.



Observando este croquis que simulan líneas de viento una velocidad cercana a los 25 nudos, podemos entender que esta fuerza de tracción sobre la cara de un sólido, y especialmente una vela es un fenómeno continuo que se produce en nuestras velas mientras tengamos un flujo actuando y mientras la forma sea la adecuada.

A partir de esa velocidad, las velas flexibles tienen dificultad para evitar las turbulencias por sotavento.

Anticipándonos un poco a la búsqueda de la forma perfecta de la vela para determinadas condiciones de viento, diremos que si la parte posterior de la vela es absolutamente plana, no generará mayor sustentación que la generada en la zona curvada, porque no cumple con el requisito de desviar más flujo de aire o viento. Formas como la descrita, con la máxima curvatura adelante y plana atrás, se emplean cuando el viento sube mucho y queremos bajar potencia, pero genera más arrastre.

Una placa plana sometida a un flujo con un ángulo de incidencia genera alzamiento por acción directa el viento por barlovento, pero por sotavento no genera sustentación, sólo turbulencias.

La fuerza generada por un viento muy fuerte superior a 40 nudos no provoca sustentación como lo entendemos en las velas sino turbulencias a sotavento de cualquier objeto con el que se topa.

A mayores velocidades, como la que necesitan los aviones para volar, a sotavento de cualquier objeto se generan zonas de menor presión. Estas zonas provocan en todas sus fronteras fuerzas de succión tan poderosas que si se dan las condiciones, puede arrancar una techumbre de un edificio, arrancar del suelo a un galpón, o romper el recubrimiento de un ala de avión.

A diferencia de las anteriores, la fuerza que llamamos **sustentación** en nuestras velas actúa por sotavento de una forma aerodinámica orientada de forma que sea capaz de desviar un flujo de aire o de agua, sin que se provoque desprendimiento de la capa límite.

Cuando se trabaja en un túnel de viento se puede determinar lo que sucede en la superficie de cada parte de un objeto inserto en el flujo. Es un antiguo método empleado por Eiffel a principios del

siglo XX. Consiste en la medición de la succión que el flujo provoca en un agujero cuyo volumen está a menor presión que la que tiene el flujo. Se llama el efecto Venturi.

Es el efecto que se provoca inicialmente en un avión cuando se abre un boquete por una explosión, pero una vez que se restablecen las presiones deja de succionar. Un paracaidista se lanza desde un avión en pleno vuelo, por una puerta abierta sin problemas de succión importantes.

Recordemos que en el interior de un túnel la respuesta del flujo es diferente a la forma en que se comporta el mismo flujo al aire libre. Los resultados son diferentes, y las conclusiones no son aplicables sin grandes correcciones a una vela que actúa cuando navegamos.

Es de suma importancia entender bien los orígenes de la fuerza de sustentación porque puede ser la fuerza más importante que se puede generar por la forma y posición de las velas y por el mayor aumento de la potencia que se experimenta cuando actúan coordinadamente foque y mayor. Es la fuerza adicional que necesitamos tener para hacer la diferencia con los otros botes en competencia.

Mi amigo Rolf me preguntó si tenía un ejemplo práctico para explicar la forma en que el viento actúa sobre una vela. Se me ocurrió el siguiente ejemplo:

Le dije: Imagina que sobre un camión que tiene sólo una baranda al costado derecho llevas a muchos niños; todos los que quepan. Por precaución, imagina que todos los niños están tomados o unidos entre sí.

Si el camión, que se desplaza lentamente, vira hacia la izquierda, todos los niños van a cargar sobre la baranda. Es lo que siente la vela por barlovento, la presión del viento.

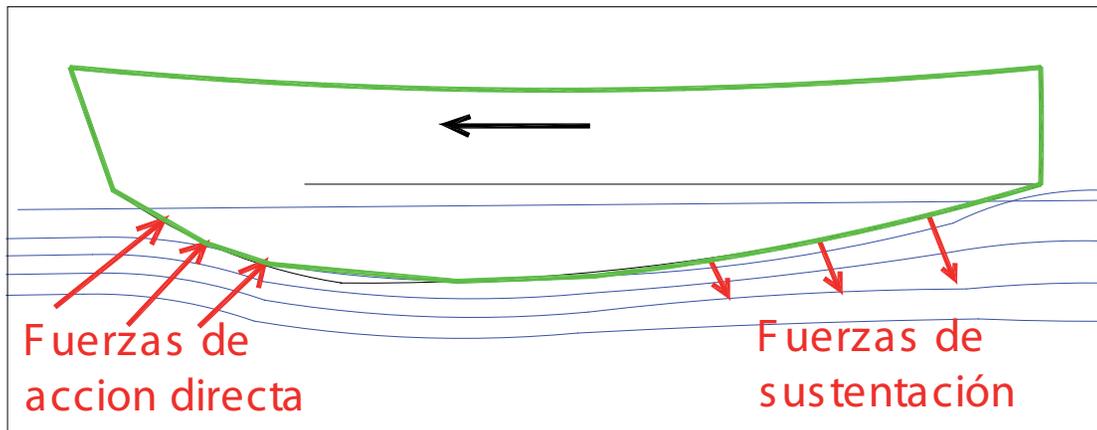
Si el camión vira hacia la derecha, la primera fila de niños se aferra a la baranda, tirándola hacia el lado opuesto. Lo que sintió la baranda es exactamente una fuerza de tracción similar a la que siente la vela por sotavento.

Si el viraje es muy brusco, las fuerzas de los niños de la primera fila no serán capaces de soportar a los otros niños y caerán del camión, partiendo por los que van más atrás...

- Pero los niños no se desplazan como el viento.

- Es cierto, pero en ese caso tendríamos que recurrir a otro ejemplo más complicado, como el del carro que se desplaza por la montaña rusa en los juegos de entretenimientos... Van sin cinturón de seguridad. Van sólo afirmados al carro con sus manos, y....

Con el agua que se desliza por el casco ocurre un efecto similar, pero el efecto es parcialmente amortiguado por la capacidad de recuperación del agua.



En el agua, cuanto mayor es el triángulo de popa que forma el casco con las líneas de agua no afectada, mayor es la sustentación que se genera y mayor la componente negativa de freno en el caso de un casco muy curvado.

La sustentación en la parte posterior del casco sólo se produce si, por efecto de la velocidad del bote, supera a la velocidad de recuperación del agua. Esta fuerza se manifiesta hundiendo la popa del bote hasta que literalmente despega y entra en planeo.

43.- Concepto de “profundidad límite” de una vela.

Es la profundidad de una vela, en la que un flujo de aire que se desliza por sotavento se mantiene adherido hasta el borde de fuga, generando la máxima sustentación, a una velocidad determinada.

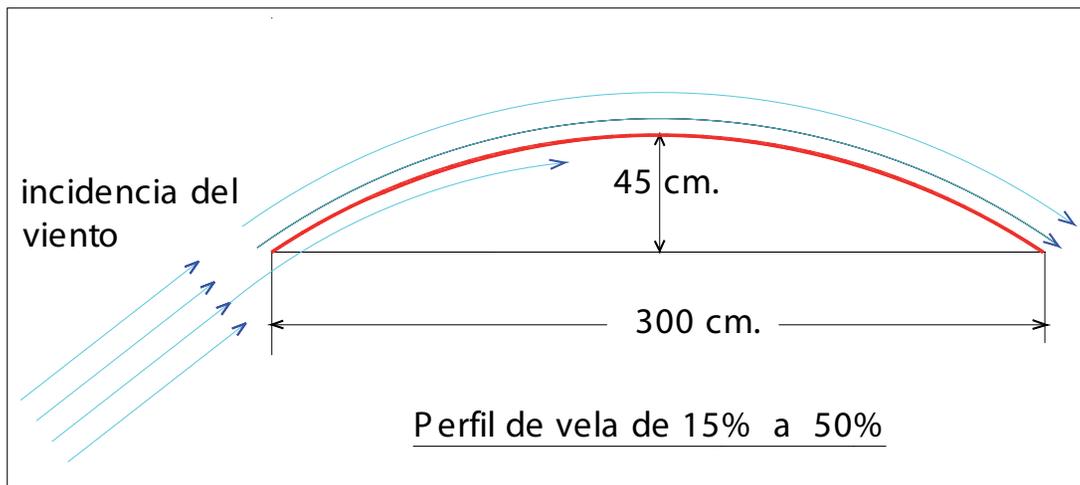
Una vela con poca profundidad cumple con la definición respecto a tener el flujo adherido en toda su superficie, pero no cumple con la condición de generar la máxima sustentación.

Esto quiere decir, que para cada velocidad de viento existe una única profundidad en una vela, en que la generación de sustentación es máxima.

Si la profundidad es mayor, el flujo no puede seguir adherido.; “los niños del camión se caen, porque sus fuerzas tienen un límite” al igual que la capacidad de adherencia del flujo.

Si la profundidad de la vela es menor, ya lo dijimos, la sustentación es menor; “a los niños le sobra fuerza”.

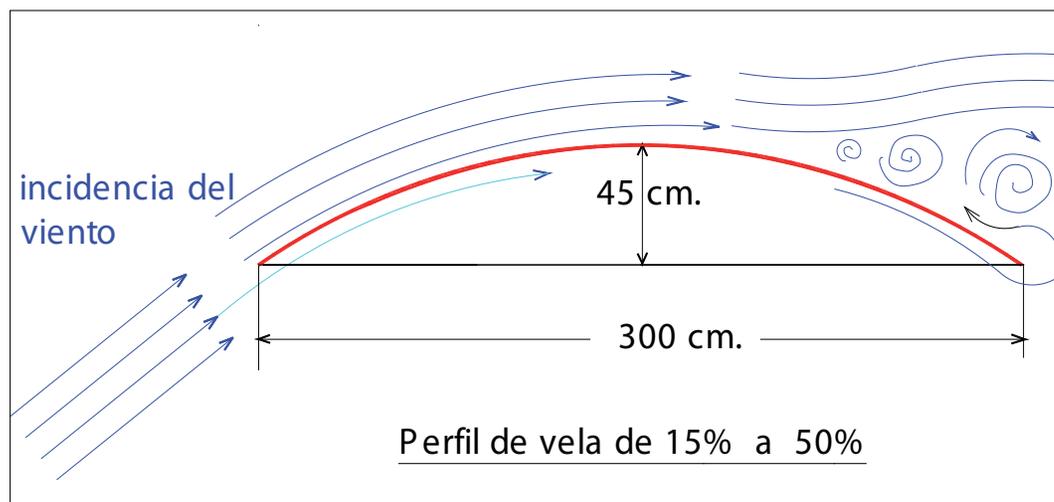
Si la o la velocidad del viento es superior a 35 nudos (Valor estimado y sin respaldo, salvo la propia experiencia) no hay forma de vela que pueda pretender generar sustentación.



El croquis nos muestra el perfil de una vela en que el flujo por sotavento llega adherido al borde de fuga. Esto no quiere decir que sea la profundidad límite de esa forma para ese viento.

Cuando el viento es una pequeña brisa, puede recorrer por sotavento cualquier forma de vela sin desprenderse. A medida que aumenta, paulatinamente la adherencia se hace menor y cuando ya supera los 12 a 15 nudos, aparecen los primeros síntomas de desprendimiento. Suenan las alarmas para aplanar la vela.

Si al mismo perfil lo exponemos a una mayor velocidad de viento, como por ejemplo 20 nudos, el flujo de sotavento seguramente se desprenderá en la zona de máxima curvatura, como se indica en la figura siguiente.



La sustentación es máxima cuando el flujo está próximo a desprenderse cerca de la baluma o en el borde de fuga. Podemos decir que la máxima sustentación de una vela está vecina a la pérdida de sustentación o stall. Pero, ¿cómo aplicar esto mientras estamos navegando?

La respuesta está en los sensores o catavientos o lanas que se disponen en la vela, especialmente en el borde de la baluma.

En la vela más plana, para poco viento, estas lanas siempre deben apuntar hacia atrás siguiendo la forma de la vela. Si esto no ocurre es porque la vela está mal trimada, o con twist imperfecto. La profundidad límite y la máxima sustentación se logra cuando las lanas de la baluma tienden a esconderse, buscando intermitentemente un giro hacia sotavento.

¿Como poder ver las turbulencias? Lamentablemente no se ven, pero con la ayuda de pequeñas lanitas emplazadas como cataviento en la baluma de la vela se puede detectar su presencia. Las turbulencias, al igual que los problemas, siempre nos acechan y están atentas para actuar. Los más experimentados navegantes afirman que pueden llegar a sentir su negativa presencia sobre las velas. A eso debemos llegar.

Cada perfil de vela tiene una **profundidad límite** para cada velocidad de viento. La profundidad límite para una vela con 10 nudos puede ser de 20% y esa misma vela con un viento de 15 nudos tiene una profundidad límite menor.

Un aumento de la temperatura del aire nos permite una mayor profundidad límite.

Como el viento aumenta con la altura, los perfiles o paños superiores deberían tener una profundidad límite menor que los paños inferiores. Eso quiere decir que la profundidad en la parte alta debe ser menor que en la parte baja de la vela. Sin embargo también tienen menor cuerda, lo que podría permitir con más profundidad que los paños bajos mantener la profundidad sin entrar en pérdida. Detalles tan importantes como estos son los que debemos manejar cuando estamos afinando una vela en el muelle, y cuando afinamos con aparente mientras navegamos. La solución no la tengo para tantos tipos de vela y condiciones de viento, pero el problema está planteado, luego estamos en la mitad de la solución

La misión es obtener la forma o curvatura justa para que las turbulencias se inicien cuando el flujo de aire llega al punto de fuga de la vela en toda su altura. O sea estirar al máximo los elastiquitos moleculares mientras permanezcan en contacto con la vela. En ese momento tenemos sobre la cara de sotavento de la vela la máxima fuerza de sustentación. A eso llamamos “profundidad máxima límite” o “profundidad límite”.

En estos apuntes recurriremos a este término acuñado en estos apuntes, en más de una oportunidad.

La mayor sustentación se logra con la profundidad límite en cada sección en todo el alto de la vela. Pero, ¿qué sucede con el arrastre?

A través de investigaciones que desarrollé en un túnel de viento, pude comprobar por simple comparación, que los perfiles con menos profundidad generan menos arrastre que uno con más profundidad.

¿Qué profundidad, menor a la profundidad límite, se debe emplear? Es la gran duda mientras estamos navegando, y la respuesta está en las condiciones del agua y de la relación con el tamaño del bote, o sea en el freno. Si deseamos experimentar, con una nueva relación con el arrastre para mejorar la velocidad, nos queda la posibilidad de aplanar la vela y adaptando levemente los ajustes a la nueva posición.

Para un bote pequeño, una forma de vela más plana que la profundidad límite es preferible para condiciones de mar plano. Si el mar está crecido, necesito más potencia y la forma debe acercarse a la profundidad límite.

Un mar plano para un barco grande, bien puede ser grande para un barco pequeño, y puede emplear formas con menos profundidad.

Es importante determinar, para cada viento, las marcas de los ajustes en que se logra la profundidad límite, y para cada vela.

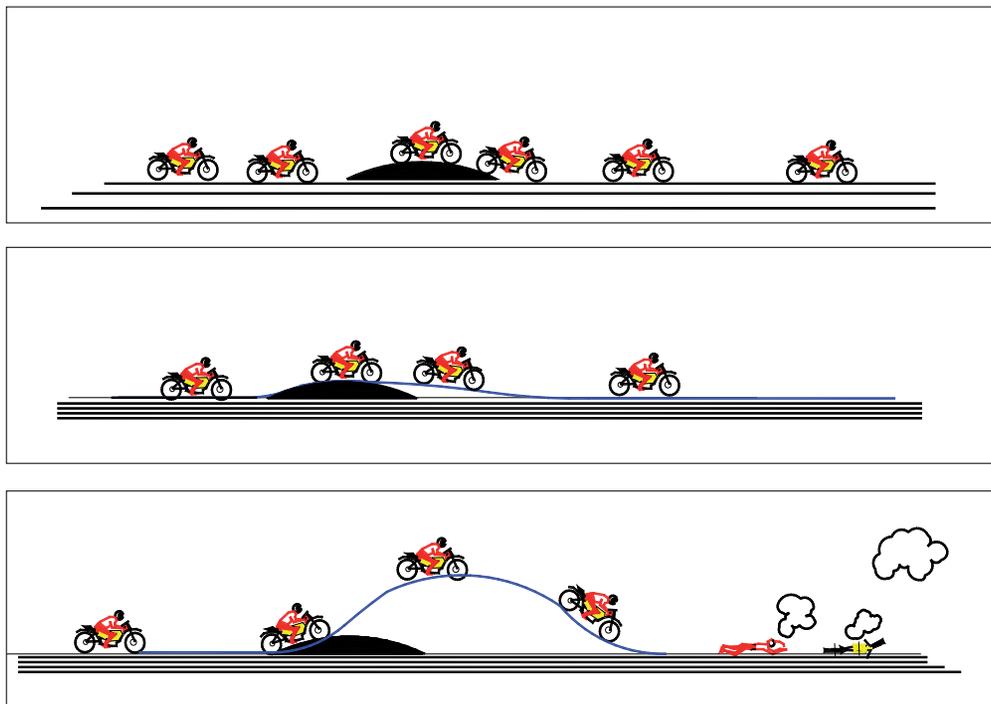
Cuando tenemos profundidad límite, para un viento determinado, en todo el alto de la vela, debemos no solo recordar la posición de los ajustes, sino que efectuar las marcas en cada uno de ellos, y para cada velocidad de viento.

Cuando el viento cambie su velocidad, volver a una profundidad límite ya no será tan difícil.

En la parte posterior de la botavara es recomendable pegar una regla que indica la posición en que debe estar el outhaul para esa velocidad del viento. Se debe hacer algo parecido con el boomvang y con los otros ajustes.

La separación o desprendimiento del flujo en una vela se puede entender fácilmente con el ejemplo siguiente:

- Las motos representan el flujo de aire o viento,
- El montículo representa el costado de sotavento de la vela,
- La fuerza de gravedad representa la adherencia del flujo con la vela.
- La línea azul de base indica la trayectoria seguida por las motos.



En el primer cuadro, todas las motos que son iguales van a una velocidad constante de 10 kilómetros por hora y pasan el montículo sin que se separen las ruedas del suelo. No hubo separación y el flujo es laminar.

En el segundo cuadro, las motos van a 40 k/hora y se mantienen adheridas al suelo por la fuerza de gravedad, hasta la máxima altura del montículo y desde ese punto se despegan del suelo. El viento se ha separado del montículo en la máxima altura. La inercia de la moto fue superior a la fuerza de gravedad en ese punto y se desprende de la superficie del montículo.

En el tercer cuadro, las motos van a 80 k/hora y se despegan del montículo y caen muy lejos. Separación total al primer contacto.

Existe una sola velocidad en que las motos igualan la fuerza de gravedad y siguen en un mínimo contacto con la superficie. Nosotros sabemos que esa velocidad en este ejemplo es superior a 10 k/hora y menos de 40 k/hora.

En nuestro caso la velocidad del viento está definida, y debemos determinar la curvatura de la vela, la forma del montículo para que el viento pase al límite de la separación. En el límite la sustentación es máxima. Es lo que llamamos “la profundidad límite”.

El flujo de aire por sotavento enfrenta el mismo problema de las motos al ser desviado por la forma de la vela. La masa de aire, que circula por sotavento a determinada velocidad, tiene un valor inercial menor al de las motos, pero no es despreciable y constante. Si la velocidad es mucha la fuerza necesaria para mantener unida esta masa al paño de la vela (fuerza de sustentación) también aumenta. Si la fuerza inercial del flujo, o sea el producto de la masa por la velocidad, es mayor que la fuerza de adherencia, (fuerza de gravedad de las motos) el flujo se desprende de la vela formándose en esa zona turbulencias aportadas por el flujo de aire que salía por barlovento y que en esta situación se devuelve por sotavento, tal como se mostró en un croquis anterior.

Si la máxima profundidad se encuentra muy adelante, podemos pensar que si el flujo es capaz de seguir esa curvatura sin desprenderse, entonces qué sentido tiene aplanar la zona posterior y desperdiciar la posibilidad de seguir generando sustentación “aguas abajo”. Esto nos hace pensar que la forma del perfil de una vela no debería tener zonas de “menor radio” sino que mantener una sola curvatura en todo el perfil. Sin embargo, y esto es sólo filosofía, es posible que la velocidad del flujo cercano a la vela disminuya “aguas abajo” después de haber entregado energía. Esta menor velocidad nos permitiría aumentar la curvatura o lo que es lo mismo llevar la máxima profundidad un poco más atrás.

En el túnel de viento pude comprobar que efectivamente son más eficientes los perfiles con posición de máxima profundidad entre 50 y 60%, que los que tienen la profundidad muy adelante, sin embargo para que el foque envíe viento limpio sobre sotavento de la mayor es preferible emplear curvaturas suaves y permanentes, o sea al 50%.

La posición de máxima profundidad en la zona media de una vela determina perfiles de amplia curvatura que facilitan el flujo del aire y mejoran la posibilidad de adherencia del flujo por sotavento. Al revés, en una vela con profundidad muy adelante, si el flujo se separa en la zona de máxima profundidad el freno (stall) va a ser mayor a que si se separa más atrás.

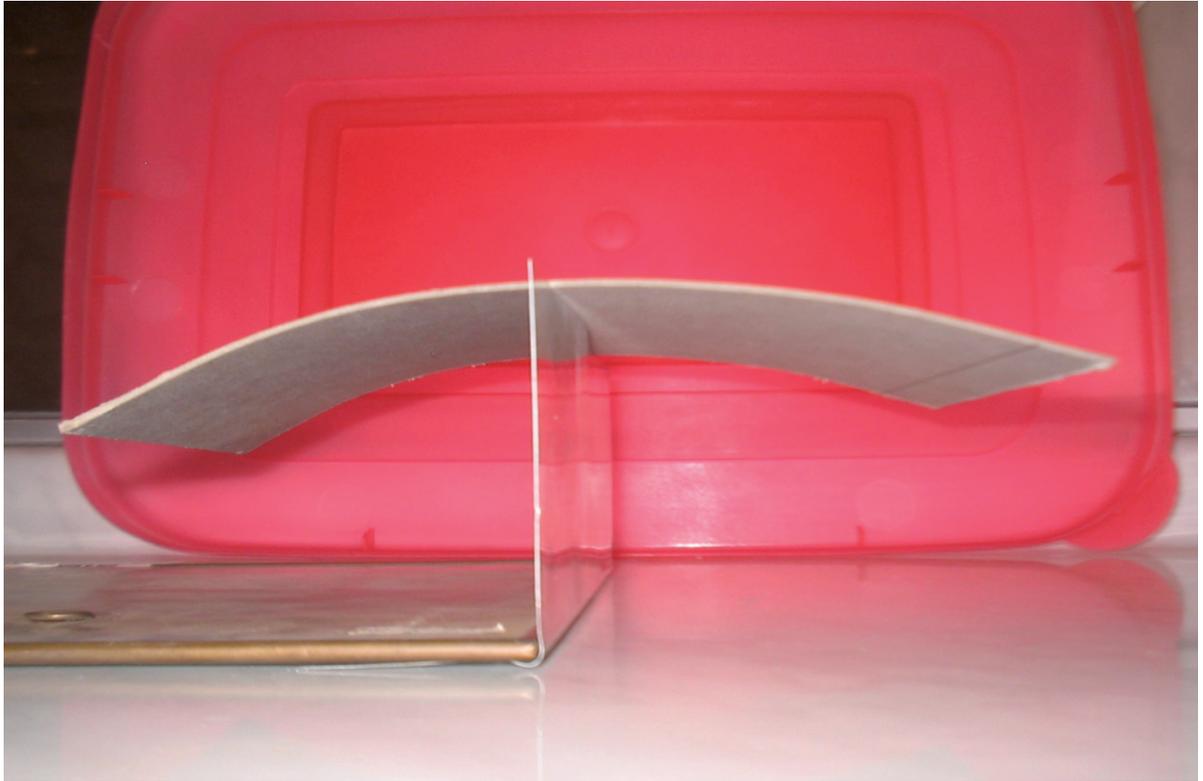
En general la forma de la vela debe evitar cambios bruscos en el rumbo del flujo que provoquen la formación de turbulencias. Esto es válido para flujos cerrados como en el interior de una tubería, como para flujos externos como el viento sobre nuestra vela

44.- Experimentando con una placa curvada.

En este casero ensayo se analiza primero, el comportamiento de una placa curvada cuando recibe un flujo de aire o chorro de aire por el costado superior.

En este primer caso, se equilibra la placa curvada sobre el borde de una lámina de acero como se ve en la foto, y en esa posición recibe el flujo de aire. A falta de otro ventilador más adecuado recurriré al secador de pelo.

Nuevamente pido excusas por “el laboratorio empleado”, pero tiene la ventaja que está al alcance de su mano hacer uno igual, sin mayores gastos y podrá comprobar lo que afirmo.



Se pudo comprobar que inmediatamente el costado expuesto al viento subió y se mantuvo en ese lugar. Se produjo sustentación pura. Si el flujo de aire fuera de una dimensión enorme como ocurre al aire libre, y premunido de algún sistema que le permita ascender en la misma posición o ángulo de ataque, tendríamos un movimiento permanente de ascensión.



La placa curvada se eleva la parte posterior por la acción directa del chorro y permanece en esa posición.

Este ensayo lo hice primero en el túnel de viento de la Universidad de La Serena, en el año 2.002, con placas curvadas de distinta profundidad y placas planas con el fin de determinar la variación del alzamiento y arrastre.

En ese momento me pude dar cuenta que existía alzamiento cuando la cuerda estaba horizontal. Busqué entonces la posición del perfil curvado en la que no se generaba alzamiento. Esta posición correspondía a un ángulo negativo en que la primera parte estaba siendo claramente afectada por el flujo hacia abajo y la parte posterior actuaba hacia arriba en el sentido del alzamiento, obviamente equilibrando a la primera fuerza.

La sustentación obviamente no se generaba en la primera parte curvada del perfil, tal como reiteradamente nos muestran los perfiles aerodinámicos de libros que intentan explicar el fenómeno de la sustentación, sino que en la zona en donde el flujo comenzaba a ser desviado hacia abajo, o sea en la parte posterior.

Esto que iba en contra de lo que se conocía, con pesados argumentos, me llevó a plantear la teoría de la sustentación que he expuesto en estos apuntes, no sin antes pasar por muchas dudas y mucho estudio, porque la sustentación a bajas velocidades de viento y entendida de esta forma, entra a cambiar todo lo que sabemos del funcionamiento de las velas, partiendo por las explicaciones de la función de una vela, de sus formas y principalmente el equilibrio de un velero.

No basta con plantear una nueva teoría y esperar que sea aceptada sin más trámite. Para que sea consistente, creí necesario desarrollar la aplicación de la sustentación por sotavento a cada situación en la que nos toca navegar y también a la forma de las velas, solas y en sociedad, tal como aparece en estos

apuntes. También llevar a la práctica dichos conocimientos en mis navegaciones, y en competencias, que es el mejor lugar para convencerse que estoy en lo cierto, más que en un túnel de viento.

45.- Experimentando con una Placa plana

La placa permanece horizontal equilibrada en el extremo de una lámina de acero galvanizado.



Al aplicar el chorro de aire a la placa plana, como la foto siguiente, se pudo comprobar que la placa tomó la inclinación paralela de la dirección del flujo. Si el flujo lo cambiábamos de ángulo, como se muestra en la segunda foto, la placa se movió hasta tomar nuevamente la posición paralela al flujo.
;;;Una placa plana no genera sustentación!!!.



¿Cuál es la enseñanza o conclusión de este modesto experimento en relación con nuestras velas?

Algo que ya dijimos y está en la definición de la fuerza de sustentación. Un perfil curvado genera sustentación porque desvía el recorrido o el rumbo de un flujo de aire. Si una vela tiene la profundidad muy adelante y más atrás es plana, sólo genera fuerza de sustentación por sotavento la parte curvada, la parte plana sólo contribuye por barlovento, que por sotavento sólo será arrastre.

46.- Zona de influencia de una forma curva

El objeto de determinar hasta donde las líneas de viento son influenciadas en su recorrido por la presencia de una vela, es tratar de determinar el valor de la fuerza de sustentación.

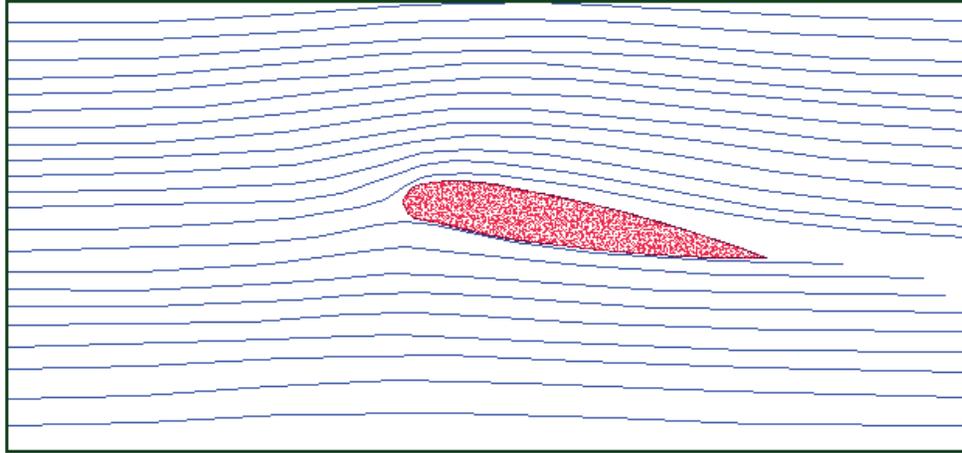
La distancia de influencia, aparte de la forma y dimensión de la vela, varía con la velocidad del viento. Es por lo tanto un tema largo y difícil de averiguar, y cuyos resultados probablemente serán aproximados y de poca utilidad práctica.

No existen estudios sobre este tema, sólo apreciaciones hechas para determinar el viento sucio que un velero genera o cono de desvente.

Dentro de un túnel de viento, un objeto interfiere el rumbo de las líneas de viento en toda la sección del túnel. Pero al aire libre, es difícil saber hasta que distancia, lo interfiere.

Normalmente dibujamos por comodidad o por desconocimiento la forma en que se desplaza el viento cuando se topa con una vela al aire libre, imaginando que estas líneas se juntan o se separan.

Para visualizar su recorrido, pero a poca velocidad y al interior de un túnel de emplea líneas de humo como en el croquis siguiente:



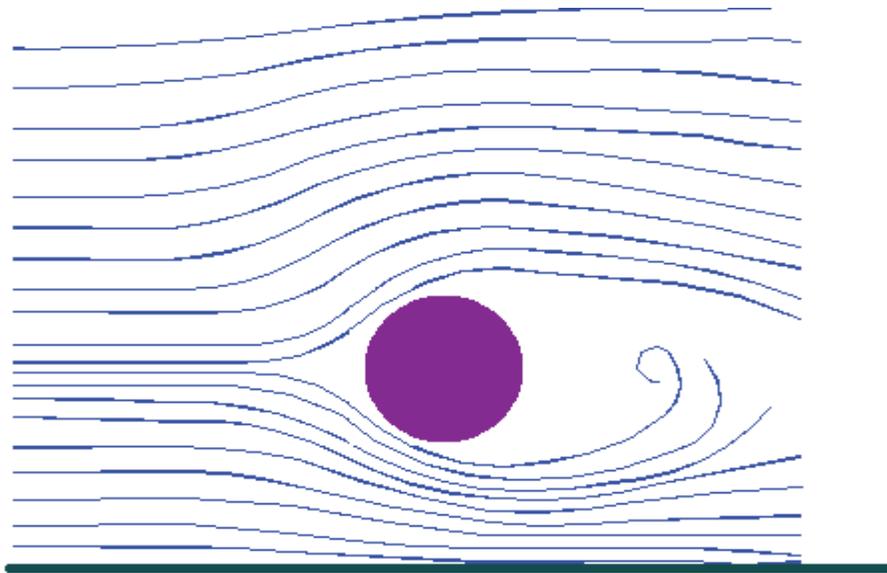
Pero al aire libre es difícil realizar experiencias que permitan visualizar hasta donde y cómo se comportan dichas líneas de viento.

Realizando observaciones sobre el comportamiento del aire al enfrentar cilindros de distinto diámetro y a distintas velocidades, pude observar que frente a un cilindro de 1,20 metros de diámetro de cara rugosa y con poco viento, el aire recorrió casi toda la superficie y faltando 40 cm, antes de llegar al lado opuesto del punto de ataque, se separó del cilindro dando origen a turbulencias.

En el mismo cilindro con viento de 20 nudos, el inicio de la formación de turbulencias comenzó justo en la zona de máximo diámetro.

En ambos casos, la zona de influencia de la curvatura se extendió hasta a lo menos 60 cm, hacia cada lado del cilindro, medidos en forma muy rústica, empleando livianos hilos dispuestos a los costados de los cilindros.

En un cilindro de 80 cm, la zona de influencia nuevamente fue la mitad del diámetro hacia cada costado, pero la separación en el máximo diámetro se inició con vientos menores que en cilindro anterior.



Cilindro de 120 cm expuesto a 20 nudos y a 1,40 m de distancia de un muro

Tuve la opción de medir la zona de influencia por sotavento de una genoa de cuerda máxima 4,2 metros y bastante embolsada. La zona de influencia se pudo detectar hasta los 3 metros.

En un foque de Lightning, con un viento de 12 nudos, la zona de influencia fue a lo menos 80 cm. por el lado de sotavento.

Resumiendo los resultados de estas mediciones podemos afirmar que la zona de influencia para vientos menores a 10 nudos, o sea **el espesor del flujo que se desliza por sotavento es a lo menos el valor del radio de la curvatura de la vela.** Es obviamente un tema para investigar.

Esta fórmula que es absolutamente rudimentaria y arbitraria, a la que seguramente habrá que agregar alguna constante por tamaño del radio de curvatura, la emplearemos para determinar la fuerza que es capaz de generar una vela con profundidad límite por sotavento.

47.- ¿Como se podría calcular la fuerza de sustentación?

De acuerdo a los principios de Newton, un objeto, o masa de aire o agua en este caso, en movimiento se mantiene como tal y cambiará de rumbo sólo por la acción de una fuerza externa. El objeto o masa de aire en movimiento tiene una inercia que es función de la masa y la velocidad.

Es difícil llegar a cuantificar con exactitud un fenómeno como el de la sustentación en la que intervienen fenómenos de adherencia, masa de aire, velocidad circular y cohesión molecular, viscosidad, sin embargo podemos hacer una aproximación empleando el concepto de fuerza centrípeta.

Recordando el ejemplo anterior, o sea aquel en que la pelota se hace girar amarrada de un cabo, la masa de aire puede ser representada por esa pelota y la fuerza de cohesión de la masa de aire adherida a la superficie de sotavento representa el cabo que la soporta. El radio de giro es la curvatura de la vela.

Para esto debemos suponer que es la vela la que gira a la velocidad del viento con la masa de aire adherida.

Tengo que hacer la salvedad que el espesor de la masa de aire empleado para este cálculo es el observado en terreno, sin aplicar coeficientes que seguramente harán disminuir los valores obtenidos. Con instrumentos más adecuados se puede determinar que la zona de influencia es distinta a la aquí supuesta.

Apliquemos esta idea como ejemplo a dos velas:

Una vela pequeña que tenga 2,15 metros de cuerda, 4 metros de alto y 14,6% de profundidad tiene un radio de 2.00 m.

Otra vela de cuerda 2,24 de 5 metros de alto, con 9,6% de profundidad tiene un radio de giro de 3,00 m.

El radio de una vela se determina a partir de la cuerda y la profundidad. El resto es simple geometría.

El viento es de 10 nudos (aprox, 5 m/s.). ¿Que fuerza genera?

Una vela de este tamaño de acuerdo a lo que estamos empleando, desvía a lo menos un flujo equivalente al radio de curvatura, o sea 200 cm. de espesor.

A partir de estos datos podemos calcular la fuerza necesaria para equilibrar el giro de una masa de aire que gira a 5 m/seg =10 nudos.

La fórmula para calcular la fuerza centrífuga = $m \times V$ al cuadr.

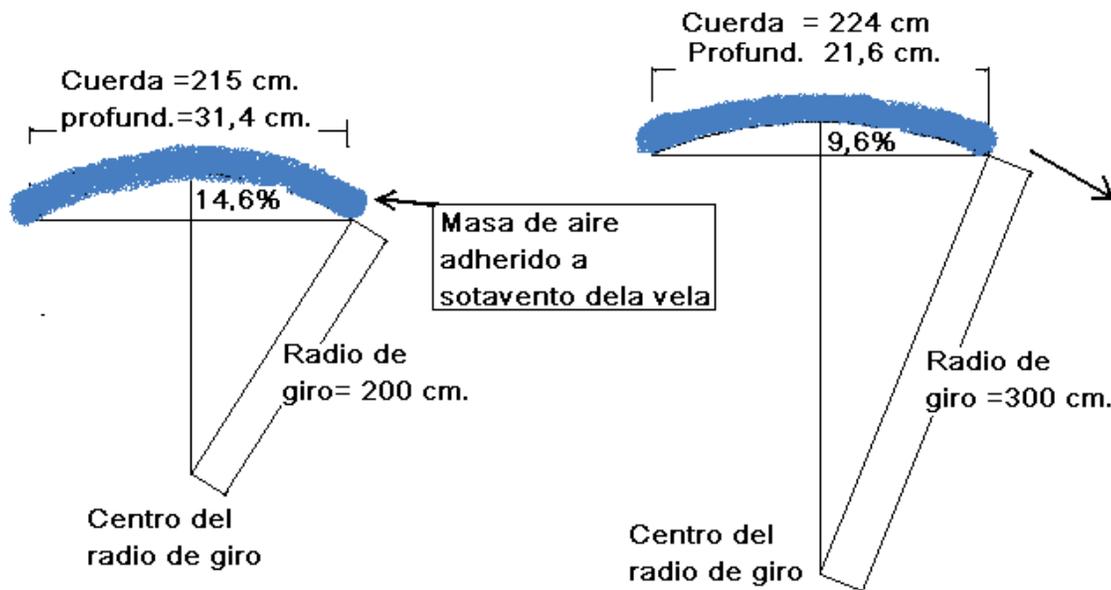
r

El volumen de aire que desvía (caudal) la vela en 1 segundo es de 5 metros de largo (5 m/s) por el alto de la vela, y por el espesor de 200 cm o 2 metros.

$$\text{Caudal} = 5 \text{ m/s} \times 4 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 40 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

La **masa** M de ese volumen de aire desviado es

$$M = \frac{40 \times 1.22}{9.8} = 5 \text{ kilos}$$



La masa de aire es de $1,22 / 9.8$. (g en condición normal)

Aplicando la fórmula para calcular la fuerza centrífuga,

$$= \frac{m \times V^2}{r}$$

r

$$\text{Fuerza centrípeta} = \frac{5 \times 5\text{m/s} \times 5\text{m/s}}{2} = 62,6 \text{ kilos}$$

La segunda vela, es de 5m de alto, luego, el volumen de aire desviado es:

$$5\text{m} \times 5\text{m} \times 3\text{m} = 75 \text{ m}^3.$$

La masa de ese volumen de aire es $= \frac{75 \times 1,22}{9,8} = 9,34 \text{ kilos}$

9,8

$$\text{Fuerza centrípeta} = \frac{9,34 \times 5 \times 5}{3} = 116,75 \text{ kilos}$$

3

De acuerdo a esto podemos resumir que con un viento de 10 nudos, una vela de $4,3 \text{ m}^2$, con profundidad de 14,6% genera una fuerza de **62,6 kilos por segundo** y una vela de $5,60 \text{ m}^2$, (30% mayor) pero con 9,60% de profundidad, puede generar una fuerza de **116,75 kilos**.

Los valores determinados corresponden a la fuerza por cada segundo, generado por sotavento.

Debo aclarar que esta fuerza es la que es capaz de generar una vela sólo por sotavento siempre

que tenga la profundidad límite, lo cual no fue considerado para los ejemplos que analizamos.

Cada vela tiene una profundidad límite para una determinada velocidad y es en la que se genera la mayor potencia.

Esa fuerza es parte de la resultante, sin considerar el arrastre, que al ser descompuesta en una fuerza perpendicular nos indicará la fuerza escorante y de abatimiento, y la otra componente será la que nos impulsa en el sentido del rumbo.

48.- Sustentación en obra viva de un velero.

Se produce una fuerza de sustentación en una parte de un objeto sólido cada vez que un fluido es desviado por la superficie de un cuerpo. Ya sea por la inclinación del timón respecto al rumbo, o por los costados y fondo del casco, o en la orza.

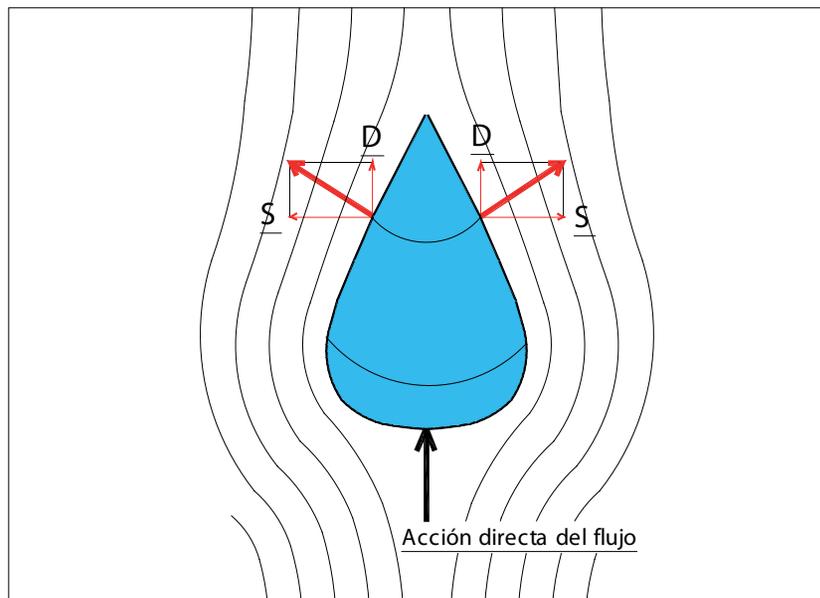
El sentido de estas fuerzas pueden favorecer o perjudicar la maniobra que deseamos ejecutar, por lo que es necesario entender cuando y como se producen y como nos afectan.

-

48.1.- En el sentido vertical.

Una gota de agua que cae libremente por el aire, tiene al principio una forma esférica, para después por acción del aire toma una forma aerodinámica, algo redondeada adelante y a partir del máximo diámetro el diámetro comienza a disminuir y teóricamente el final debería ser una alargada punta.

La fuerza de sustentación que se manifiesta a partir del máximo diámetro, es perpendicular a la superficie. Si descomponemos esta fuerza tal como lo indica el croquis, la componente **D** en el sentido opuesto al desplazamiento “tira” a la superficie de la gota hacia arriba, provocando el alargamiento. La otra componente **S** se encarga de mantener la sección circular.



El croquis trata de representar una gota de agua que cae en el aire

En la cola de un submarino ocurre la misma situación, pero estas fuerzas componentes **S** se anulan a sí mismas igual que en la gota, y la opuesta al rumbo **D** es superada por el motor.

El casco de un velero es como una gota o un submarino que avanza por sobre el agua, en que la componente **S** actúa sólo en la parte mojada, tratando de hundir la popa como un peso extra, y la componente **D** lo frena.

Los fondos de cascos más comunes son fabricados siguiendo formas aerodinámicas, con curvatura en el sentido longitudinal. Al avanzar desvía una cantidad de agua (por presión directa) para luego recuperarla siguiendo la forma del casco, por sustentación. Este cambio de rumbo del agua requiere de una fuerza adicional **S** que por reacción “tira” el casco hacia abajo. Esta fuerza generada depende de la velocidad del desplazamiento.

Sin embargo no todo son malas noticias, ya que existe en el agua, y no en el aire, la “voluntad” de volver a su nivel original, provocado por la presión del agua.

Efectivamente en el agua quieta de un estanque no puede haber una depresión o agujero, ya que si es provocado, por ejemplo, por una piedra que cayó en el agua a gran velocidad, pronto “el agujero” provocado se llena nuevamente de agua. De la misma forma, nuestro casco abre el agua generando un verdadero surco que se llena de agua inmediatamente después que pasamos.

La velocidad con que el agua tiende a llenar este vacío depende de la presión, de modo que la velocidad de desplazamiento de agua superficial será menor que la que se encuentra más abajo. La velocidad a que se mueve esta agua está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad} = \text{Raíz de } 2 \times g \times h$$

En que g es la fuerza de gravedad y h la altura en metros.

A 10 cm de profundidad la velocidad del agua es de 1.4 m/s. o sea 5 k/h, la velocidad a la que un hombre camina.

Analizado este detalle, diremos que la sustentación siempre se genera y pasa a convertirse en un problema de freno, cuando la velocidad de la parte de la obra viva involucrada es superior a la velocidad de recuperación del agua, que como hemos visto es fácil que suceda en nuestros cascos.

Analizando la parte posterior del casco, del quillote y de cualquier elemento bajo el agua, a mayor velocidad, y a mayor curvatura, mayor es el caudal y mayor la desviación, o sea esta fuerza de sustentación perpendicular a la superficie del casco, que tiende a hundir y a frenar el casco en esa zona, se hace más poderosa. En este caso, la componente **S**, de la sustentación generada, provoca hundimiento y la componente **D** un aumento de freno o arrastre, siempre que supere la capacidad de reacción del agua.

Podemos decir ahora que una forma hidrodinámica es de máxima eficiencia si la velocidad a que se desplaza el objeto iguala a la velocidad de reacción en toda la altura.

De paso podemos sostener ahora, que para este efecto un quillote podría tener sección diferente para cada profundidad, sin generar freno por sustentación, ya que la velocidad de recuperación del agua es superior a mayor profundidad, que es donde existe mayor presión, partiendo por un perfil arriba que

mantenga estabilidad y más abajo un perfil que se oponga mejor al desplazamiento lateral, o sea con la mayor curvatura hacia popa.

En nuestros veleros el problema de freno por sustentación en popa existe, y se puede minimizar evitando salidas redondeadas.

Mantener el mayor peso de la tripulación en el centro es el ideal para no hundir el espejo y crear arrastre en velocidades bajas, sin embargo con el aumento de la velocidad, el bote desplaza más agua y el problema del espejo, que arrastra agua, empieza a ser secundario frente al aumento de la superficie proyectada (freno por forma) y mayor superficie rozando agua. El desplazamiento del peso hacia popa es una alternativa de solución, porque “achica la cuerda de la vela” y evita generar más sustentación. Pero esta nueva posición debe tener relación con mantener el espejo ojala fuera del agua o a ras de agua. El problema se acaba cuando el casco entra en planeo, situación poco probable en yates grandes.

Por eso un casco que tiene el fondo con poca curvatura y espejo ancho, como un láser, puede entrar en planeo más fácilmente que uno que presenta una forma curvada, ya que su “peso” por sustentación en la parte posterior no aumenta tanto con la velocidad comparado a otros cascos más curvados.

Cascos como el flyin dutchman o el 470 que son ligeramente planos de popa se ven poco afectados por este efecto. Se puede apreciar que por esta causa los diseños de lanchas a motor que desarrollan grandes velocidades tienen el fondo plano.

He querido referirme a este tema, porque muchos apuntes afirman que la escora provoca dos costados de un perfil hidrodinámico, y que las partículas del costado de sotavento deben viajar más rápido para juntarse, etc etc... lo cual, como hemos visto, es parte de una errada teoría. **¿Otro mito?**

La sustentación con efectos negativos efectivamente se produce siempre en un casco con formas curvadas, pero no es provocada por diferencias de presión, y menos en el agua que es incompresible a estas velocidades.

El efecto negativo de la sustentación en las partes más bajas es evitado en gran medida por la recuperación del nivel de agua, pero no es despreciable.

48.2.- Sustentación en sentido horizontal.

Una embarcación provoca sustentación en ambas aletas cuando está adrizado, pero cuando se escora toda la sustentación actúa en la cara mojada, provocando una fuerza perpendicular a la cara de la aleta, o sea con una componente negativa **D** que nos frena y la otra componente **S** que “tira la popa hacia sotavento y que se suma al efecto timón de la amura de la misma banda, pues no tiene otra fuerza que se le oponga.

Los yates que comúnmente vemos, comienzan a aumentar en el ancho a partir de la proa, hasta llegar a la máxima dimensión en las cuadras. A partir de ese punto y hacia popa por la aleta el flujo desviado tiende a seguir el rumbo del flujo libre, pero una vez más no puede hacerlo porque debe seguir adherido al costado del casco. O sea fuerza de sustentación pura por ambos costados en forma perpendicular a la superficie.

Podemos afirmar que toda embarcación, con espejo de menor dimensión que la manga, que es la más común, se frena cada vez que ambas aletas están bajo el nivel de flotación, o sea en el agua. Esto ocurre cuando el mayor peso se encuentra en la popa. Por definición de sustentación, este freno es poco cuando la velocidad es poca y aumenta con el cuadrado de la velocidad, hasta que la embarcación entra en planeo en donde este efecto desaparece. Del mismo modo la sustentación depende de la cantidad

de agua desviada. Si la superficie curvada del casco es grande, más agua desvía y el freno es mayor. Recordemos que la sustentación que se genera en el agua es 830 veces a la que genera un mismo perfil en el aire.

A la velocidad que se desplaza un velero este freno por sustentación sólo se produce en una delgada capa de agua superficial, o sea los primeros centímetros de profundidad. Mas abajo la capacidad de recuperación del agua anula el efecto de freno.

Desde hace unos 10 años aproximadamente, o sea desde 1995, se empezaron a ver grandes yates contruidos con fondo casi plano en la zona posterior y de forma triangular, o sea de espejo ancho, y dos timones pero con algo de curvatura en “la panza”. Este inteligente diseño que no sé si obedece, al tema que estamos desarrollando, o fue pensado para mejorar el esfuerzo de la tripulación en contra de la escora, aplicando el mismo peso con mayor palanca. Tiene la ventaja de no provocar desviación del flujo en la zona de las aletas, o sea menos turbulencias en popa, y al escorarse presenta un costado plano que le permite entrar rápidamente en planeo, o sea es más fácil que se deslice sobre el agua.

La foto muestra al yate La Colorida (2009) ganador de varias etapas en la regata que recientemente dio la vuelta al mundo, y que tiene las características señaladas anteriormente.

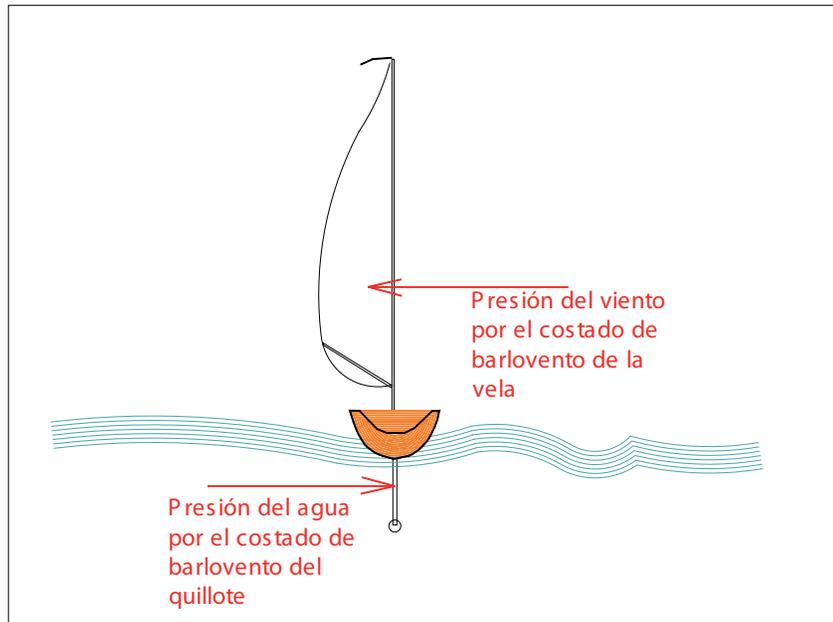


Los dos timones con dos ruedas de mando se explican porque al escorarse al menos uno de ellos siempre trabaja.

49.- Sustentación en la quilla y timón

Todos los yates a vela tienen un abatimiento que varía entre 4° y 10° según la velocidad, rumbo, peso, y la capacidad de concentración del timonel.

Esta pequeña desviación provoca en la quilla una situación similar al ala de un avión en vuelo, con un ángulo de ataque equivalente al ángulo de abatimiento, que vuela imaginariamente en el mar. Para estos efectos, la cara de barlovento de la orza es la de sotavento de la vela.



La orza de un Pirata o de un Lightning que tienen orza y a veces pala de un timón plano. Tienen la desventaja de provocar fuertes turbulencias o freno cuando deben corregir el rumbo, o cuando se inicia el viraje, porque la pala plana no provoca sustentación y actúa sólo por presión directa por barlovento.

En todos los rumbos exceptuando la empopada, la orza y el timón planos, están provocando freno por roce y por la formación de turbulencias.

La forma aerodinámica de una quilla y de una pala de timón disminuye en parte este defecto. En la empopada, ambas caras crean sustentación al igual que las aletas de un casco común sumergido o de cualquier perfil aerodinámico, anulándose sus componentes horizontales S_x . Sin embargo en todos los otros rumbos, el ángulo de ataque de esta ala sumergida (quilla) genera sustentación hacia barlovento del barco en contra del abatimiento, lo que es una clara ventaja sobre la orza plana.

Con la pala del timón ocurre una situación similar si se mantiene en el sentido de la quilla, la sustentación por la cara de sotavento de la pala (barlovento del casco) tiende a mover la popa del casco hacia barlovento de la embarcación.

Lo que nos importa, y que estamos analizando, es cómo evitar la generación de freno por desequilibrio longitudinal. Según esto, para nuestros fines, el timón no debería generar sustentación, pero el abatimiento siempre existe y debemos resignarnos a este mal, pero evitando la sustentación por una sola cara, por lo que para nuestros fines es recomendable dejar suelta la pala de modo que tenga los grados del abatimiento, es decir el del rumbo real sobre el fondo marino, o sea con la caña entre 3 y 8 grados hacia sotavento, ¡pero que no trabaje para corregir el rumbo!

No siempre nuestros timones o nuestra mano son tan sensibles para mantener la pala del timón en el rumbo verdadero. Una forma artesanal para detectar lo que sucede, es soltar un cabo por la popa, y verificar que la caña tenga la misma dirección del cabo. Esto también lo hemos aplicado con éxito

cuando hemos navegado con mucha corriente, y es de gran ayuda para el timonel para determinar el ángulo de abatimiento.

He visto en publicaciones y algunos expertos que recomiendan navegar con el timón con un grado de inclinación de tres a cinco grados, **¡pero a barlovento!** o sea exactamente al revés de lo que estamos indicando.

Dicen que algunas embarcaciones “**navegan mejor**” con un pequeño ángulo en el timón (curso técnico North 1995). Esta afirmación no tiene que ver con evitar arrastre o freno, sino que corresponde sólo a una forma más de equilibrar el rumbo de un bote y no a mejorar la velocidad o el ángulo de ceñida. Una pala de timón siempre provoca freno por forma, por roce y podemos agregar ahora que también por generación de sustentación con componente negativa.

Para mejorar la estabilidad del rumbo, (no la velocidad) los comandos del timón no deben tener juego, no deben ser muy sensibles, y las velas deben tener el máximo de bolsa que permita el viento, profundidad límite, y optar a ángulos de ceñida más abiertos.

Me he preguntado muchas veces a que obedece la recomendación de navegar con el timón entre 3 y 5° a barlovento. La única explicación la encuentro en unas antiguas embarcaciones empleadas en el Oriente, que tenían dos orzas con concavidades opuestas, de modo que cuando navegaban amurados a babor usaban la que les generaba sustentación hacia la misma banda, o sea hacia barlovento, y la otra la sacaban. Cuando hablamos de yates como los de ahora con quilla separada del timón, esa recomendación constituye claramente un error. Si esa recomendación se refiere a embarcaciones que tienen quilla corrida de proa a popa, tampoco tiene sentido, porque un pequeño ángulo del timón no forma un perfil que genere sustentación, sólo turbulencias y freno.

50.- Flujos abiertos versus flujos cerrados.

El agua o cualquier gas que se desplaza por el interior de una tubería, tiene comportamientos que es característico para esa condición. Si se desplaza es porque existe una fuerza que obliga al fluido a hacerlo a determinada velocidad. En un estrechamiento de la sección de esa tubería, el flujo aumenta la velocidad para mantener el gasto. Hechas las mediciones de presión en ese estrechamiento de la sección, se detectó que la presión manométrica disminuye. Esto llevó a los científicos a postular que un aumento de la velocidad en un flujo cerrado provoca la disminución de la presión. Pero esta afirmación no es extensiva para ambientes abiertos en que la masa, la energía y la temperatura, están afectados por agentes externos.

En un flujo cerrado la turbulencia se inicia en números de Reynolds mil veces menos que si el mismo fluido se encuentra en estado libre o flujos abiertos.

Cuando el agua o el aire se encuentran en estado libre, su comportamiento cambia radicalmente. Tal como veremos al analizar el canal o canaleta o corredor formado por foque y mayor. Cuando se disminuye la sección del corredor o canaleta formada por foque y mayor, lo que estamos logrando es reducir la cantidad de masa de aire que es la encargada de generar la sustentación por sotavento de la mayor. Me podrán argumentar que en ese canal estrecho la velocidad del flujo aumentó. Es posible que eso ocurra, pero antes que el flujo se acelere por esa sección estrecha, fue necesario frenar la masa libre de aire que venía. Eso es un enorme freno. El aire en un flujo abierto no está obligado a circular por un estrechamiento excesivo, porque al revés de lo que sucede en una tubería, el flujo tiene más opciones de camino y siempre elegirá el más simple.

Muchos de los errores que aparecen en textos, relacionados con la sustentación, forma de vela y

con el comportamiento de los flujos en espacios abiertos, se deben principalmente a la errada aplicación de los fenómenos físicos descubiertos en el comportamiento de un fluido, que son aplicables sólo para flujos cerrados.

Ensayos efectuados al aire libre determinaron que la presión en los lados de un ala de avión a 100 k/hora prácticamente no existe, y que la diferencia del recorrido de una partícula que viaja por el extradós, o sea por arriba, es apenas un 2% superior a una que viaja por el intradós.

Un ala de un avión, a diferencia de una vela, es un perfil que tiene un volumen y una superficie proyectada en el sentido del flujo que “comprime el aire” en la zona de estancamiento o de primer contacto con el aire, para después ofrecerle una salida sin turbulencias y escaso freno por forma.

En el perfil de una vela, no tiene un volumen que divida al flujo.

A la velocidad que el viento circula por nuestras velas al aire libre, no tiene posibilidad de generar cambios de presión o vacío por sotavento.

Si en el interior de una tubería, un fluido como el agua va circulando con una cierta cantidad de movimiento o inercia, y se produce un cambio de rumbo, no se produce sustentación sino una fuerza hacia el exterior de la curvatura que llamamos fuerza centrípeta. Si se trata de un canal abierto en donde se produce el cambio de dirección, el agua tenderá a seguir recta pero es desviada por la pared del canal. Esto explica la acción directa o presión del fluido sobre la pared del canal o el intradós de un ala delta, o en la cara de barlovento de nuestra vela.

Sólo en un pequeño sector, donde se inicia la curvatura interior, el agua sigue la forma del canal por adherencia del agua con la pared del canal como un solo cuerpo. En esa zona se produce el fenómeno tracción sobre la pared del canal, parecido a lo que sucede en las velas y que llamamos sustentación.

Es la zona de un canal en que normalmente se forman preciosos remolinos como embudos que succionan agua hacia las partes más profundas del canal. En grandes ríos, esos perfectos embudos hacen girar en redondo a los botes más pequeños.

Si la curva es muy cerrada y la velocidad excesiva, en esos sectores se inicia desordenadas turbulencias con corrientes adversas de flujo que podemos detectar fácilmente, como por ejemplo al doblar una manguera de riego.

51.- Sustentación versus ángulo de ataque.

Analicemos lo que sucede con el flujo por sotavento de una vela y la **sustentación** en función del ángulo de ataque con un viento de 10 nudos, aproximadamente 5 m/seg :

- Partiendo de una posición de vela con un adecuado ángulo de incidencia respecto al rumbo del viento, el flujo que entra por la cara de sotavento se adhiere al paño y tiende a seguir la forma circular de la vela. Se producen dos situaciones:

- **a.-** Si la vela es más plana que bolsuda, el flujo sigue la forma sin problema, porque las fuerzas de adherencia son capaces de equilibrar la fuerza de inercia que tiende a separar al flujo y seguir el rumbo recto. Por lo tanto el flujo sale por el gratil limpiamente para volver a sumarse, después de realizar una trayectoria curva, al flujo general.

- **b.-** Si aumentamos la bolsa de la vela, se aumenta automáticamente el ángulo de ataque. Deberemos buscar el ángulo de incidencia del viento de acuerdo a este mayor ángulo arribando en

un par de grados hasta lograrlo. El flujo se adhiere al igual que el caso anterior, pero puede suceder que el flujo no pueda seguir la curva de la vela y se separe de la superficie de la vela en el punto de máxima profundidad. Lo que ha ocurrido es que la fuerza de adherencia ha sido sobrepasada por la fuerza de inercia en ese punto. Los “elastiquitos” provocan tensiones tan fuertes que atraen a las moléculas vecinas. La zona ubicada entre el punto de separación y la baluma por sotavento, es ocupada principalmente por la masa de aire que salía libremente por barlovento, para ahora devolverse, provocando una corriente o flujo en contra o adversa y una gran turbulencia a partir de ese punto. En esta zona se produjo la pérdida de sustentación. Las turbulencias son el mayor desperdicio de energía y el mejor freno.

-Ahora si disminuimos gradualmente la bolsa de la vela, lograremos una posición entre los extremos, (forma plana o con mucha bolsa) en que el flujo por sotavento empieza a seguir la forma de la vela y saldrá libremente por la baluma sin turbulencias. Esta es la forma de vela cuya profundidad nos proporcionará la mayor sustentación. Hemos logrado la **profundidad límite**. Con esa forma hemos logrado desviar el mayor flujo de aire posible sin formar turbulencias sobre el paño, y tenemos máxima potencia en nuestra vela.

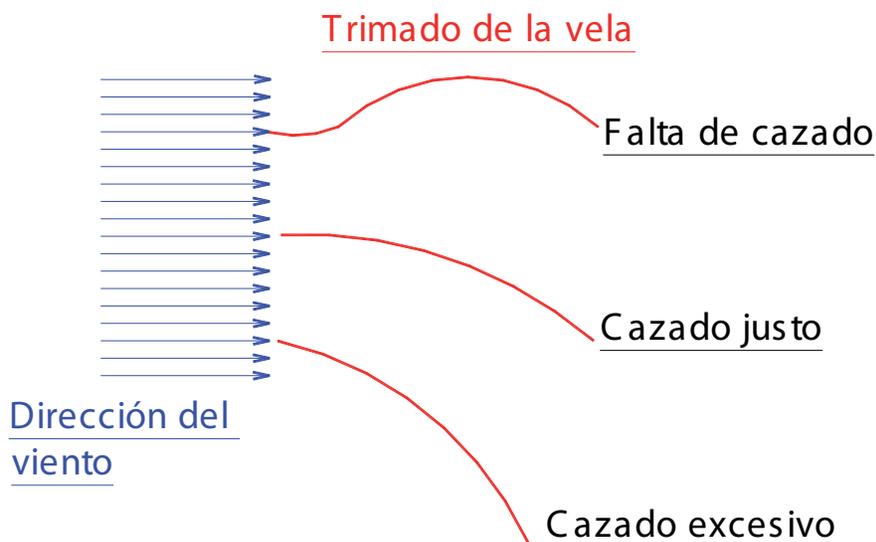
Es importante tener en cuenta que la máxima potencia la obtendremos con la máxima profundidad que nos permite cumplir con lo anterior en todo el alto de la vela.

La máxima fuerza de sustentación se produce entonces, por una justa relación entre las fuerzas inerciales y las de adherencia por la cara de sotavento de la vela.

Hemos visto como varía la sustentación según la profundidad de la vela, sin embargo la posición de esa máxima profundidad y la forma general de la vela y a distintas alturas es un tema que intentaremos desarrollar, pero en esto es recomendable ir paso a paso.

52.- Sustentación versus trimado

Una vez que hemos logrado la máxima sustentación y por lo tanto la mayor eficiencia, queremos saber que es lo que sucede si cambiamos el ángulo de cazado de la vela, situación que sucede comúnmente cuando estamos aprendiendo a ser timonel, o cuando nos distraemos..



Si a partir de ese punto óptimo cazamos más o tesamos la escota, el ángulo de incidencia del viento sobre la vela ya no es el óptimo y la masa de aire no logra adherirse a la vela por sotavento, iniciándose una turbulencia generalizada en ese lado de la vela.

Lo peligroso de esto es que mirando la vela no acusa que este problema está ocurriendo. Sólo lo detectamos por las lanas o catavientos de la baluma.

Ahora si en lugar de cazar, lascamos o soltamos la escota, el viento, entra por sotavento, desventando la zona cercana al gratil. Se provoca turbulencia en esa zona pero la sustentación se sigue generando en el resto de la vela, pero equivale a tener una vela con menor cuerda, más plana, y por lo tanto, menos sustentación.

53.- Sustentación y temperatura.

Partiendo de la base que un fluido turbulento no genera sustentación, debemos analizar los factores que intervienen para que un fluido se convierta en turbulento.

Para tratar este tema tendremos que recurrir al número de Reynolds que relaciona precisamente las variables viscosidad y masa de los fluidos.

La masa del aire por unidad de volumen disminuye con la temperatura, y la viscosidad del aire aumenta, sólo nos queda recurrir a las tablas de valores de la viscosidad cinemática, que como recordamos es la viscosidad dinámica o real dividida por la masa del fluido, a distintas temperaturas:

Viscosidad cinemática del Aire

0°	0,0000133
10°	0,0000141
20°	0,0000151
30°	0,0000160

Observando la forma en que se calcula en N° de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{\text{Velocidad} \times \text{Longitud}}{\text{Viscosidad Cinem.}}$$

Si el valor de la viscosidad cinemática aumenta, el N° de Reynolds disminuye, o sea que **al aumentar la temperatura del aire en que navegamos la posibilidad de mantener la capa límite en forma laminar aumenta, lo cual nos permite utilizar una mayor profundidad límite, o sea una vela más englobada, o una vela de mayor cuerda.**

Si la humedad del aire aumenta, el aire es ligeramente más liviano, pero la variación es mínima respecto a un aire más seco.

54.- Curiosidades de la sustentación

Se dice que los hermanos Wright volaron además de sus esfuerzos, por una casualidad. Las alas las diseñaron lo más livianas posible con bastidor de madera, lona y absolutamente planas. En el intento

de volar estas alas planas se convirtieron en cóncavas, con lo que se provocó un enorme aumento en la sustentación, cosa que pudieron observar en este primer vuelo. Si las alas no se hubiesen deformado, probablemente el aparato volador jamás habría despegado del suelo.

Actualmente se fabrican molinos de viento que emplean la sustentación en reemplazo de los antiguos de aspas fijas que actuaban sólo por presión directa. El rendimiento lo dice todo; son hasta siete veces más eficientes.

En la aviación descubrieron que la fuerza de sustentación era superior a la de presión directa después de comprobar, a raíz de un descenso con demasiada velocidad, que la tela de recubrimiento del ala se rompió por sotavento o extradós del ala de los aviones. A partir de esa observación el extradós de las alas se recubrió con telas más resistentes.

En la empopada, sólo tenemos la fuerza directa del viento y carecemos de sustentación. Por esta razón es que cuando los grandes veleros de la Copa América van hacia la boya de sotavento, lo hacen efectuando bordadas para navegar más a un largo que en popa franca y provocando de esta forma sustentación en sus velas, y por lo tanto mayor potencia y velocidad.

En estos puntos mencionamos la navegación empopada empleando la baluma como borde de ataque o By the Lee, precisamente para generar sustentación.

El spinnaker o globo es también una forma aerodinámica y la generación de sustentación y creación de flujos debe ser acorde con la mayor.

Hoy, con la gran altura de los edificios, la acción del viento es detalladamente analizada y estudiada. De hecho en muchos países la orientación y forma de los edificios está sujeta a normas técnicas obligatorias.

Por esta causa es que cuando se calcula estructuralmente un edificio o galpón debe considerarse no tan solo las fuerzas gravitacionales sobre el suelo, sino las que el viento genera. Debe disponerse de anclajes capaces de evitar que la fuerza de sustentación arranque la techumbre, y fundaciones que generen suficiente adherencia al suelo para evitar que vuele como un paraguas.

La fuerza de sustentación, es la que deseamos provocar en nuestras velas a través de la eterna búsqueda de la forma perfecta para el cambiante viento para mantener la potencia de nuestro motor que son las velas, para mantener o aumentar la velocidad de nuestro bote. Cuando el viento es mucho y estamos sobrepotenciados debemos achicar vela cazando al máximo el cunningham, quitando profundidad, o cambiando a un paño de menor superficie.

55.- Jugando con un paraguas

¿Desea usted percibir la fuerza de sustentación?

Salga de su casa y juegue con un paraguas abierto, ojala más plano que bolsudo, exponiéndolo al viento (se recomienda hacerlo sin que lo vean) cambiándolo de posición desde horizontal hasta un pequeño ángulo.

Notará dos efectos: el primero es que tiene que soportar una fuerza en contra de la dirección del viento, que hemos llamado de presión directa sobre la cara de barlovento y es la que genera arrastre, más un poco por el roce del aire. El segundo efecto es en contra de un sentido de rotación provocado por una fuerza que tiende a hacer descender la parte de barlovento y otra en el sentido vertical que nace del lado de sotavento. Buscando ángulos de incidencia aparecerá uno en que la fuerza resultante es hacia arriba, entonces,

¡felicitaciones! Usted ya tiene su propia sustentación....

56.- Centro de presión, equilibrio del bote.

Todos los perfiles unidimensionales de formas convexas, expuestas a un flujo de aire, tienen un centro de presión inestable, o sea que varía o se desplaza según la velocidad del viento, la forma del perfil y del ángulo de incidencia del viento.

Los aviones emplean alas bidimensionales por razones estructurales y además porque son más estables que las unidimensionales. Aun así los aviones necesitan estabilizadores o timón de profundidad para corregir los efectos de inestabilidad que provoca el desplazamiento del centro de presión y de las turbulencias del viento que siempre están presentes en la atmósfera.

El perfil de una vela, por sus características unidimensionales y además por ser fabricadas con material flexible, es altamente inestable. En la aeronavegación fueron desechados apenas descubrieron tan importante detalle.

En los kite surf se emplean perfiles planos pero con un tubo de 15 cm de diámetro aproximadamente en la zona de ataque, del mismo material de la vela inflado a presión. Esto elimina en gran medida la inestabilidad, a la velocidad que vuelan.



Cuando hablamos de inestabilidad de un perfil, nos estamos refiriendo al cambio del centro de presión que afecta en forma permanente el equilibrio de un velero.

En nuestros veleros la inestabilidad habitualmente la corregimos con el uso del timón, pero esta provisoria solución, debe ser corregida inmediatamente a través de los ajustes para volver a equilibrar el rumbo sin el uso del timón, porque cada vez que trabaja genera freno.

Es tarea del afinamiento establecer formas más estables, dentro de lo posible, para que la acción impulsora de la vela sea permanente y no a intervalos, para lograr un buen rendimiento.

En una ceñida con una vela embolsada y sin pretensiones de ganar altura se obtiene un rumbo estable y velocidad sin grandes variaciones. Si se navega con una vela más plana y apretado ángulo de ataque, en donde con mucha concentración se puede lograr más velocidad, siempre que el mar no nos presente muchas variantes de freno.

56.1.- Centro de presión de una vela

Lo definimos como el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre un plano.

En el caso de una vela, este punto se llama centro de presión o punto de presión y en la orza, simplemente centro de presión de la orza.

En una explicación burda y gruesa, se puede decir que centro de presión de una bandeja llena de platos y botellas, es el punto en que el mozo la soporta con una sola mano.

En una vela expuesta frontalmente al viento, como sucede cuando navegamos empopados, el centro de presión está cercano al tercio inferior del gratil y cerca del tercio de la cuerda, que es la distancia del gratil a la baluma medida en forma recta. Sin embargo, este centro de presión presenta variaciones para diferentes posiciones de la profundidad de una vela.

Cuando hablamos del centro de presión de una vela, en rumbos que no sea la empopada la cosa se complica un poco más, porque tenemos que considerar las fuerzas de presión directa por barlovento y las de sustentación por sotavento.

Navegando en estos rumbos, las fuerzas por barlovento siempre están presentes, y sus variaciones dependen básicamente de la forma y del ángulo de incidencia. Por sotavento la fuerza de sustentación aparece apenas comienza a desviarse el flujo adherido a la cara de la vela y desaparece cuando las fuerzas inerciales superan a las de viscosidad, ya sea por formas o por exceso de velocidad del viento, según se explica en el **tema de la sustentación**.

De acuerdo a esto, la fuerza de sustentación tiene un amplio rango de aporte a la fuerza total, ya que puede no existir, desaparecer, o desplazarse a una determinada área de la vela, con lo que el centro de presión total se ve absolutamente dependiente en función del ángulo de incidencia, del cazado o de la forma.

La fuerza de sustentación es la responsable directa de la fama de inestabilidad de los perfiles aerodinámicos unidimensionales como nuestra vela.

Ambas fuerzas, las de barlovento y de sotavento determinan una resultante que se aplica en el **centro de presión de la vela**.

Esta fuerza es traspasada al casco a través del mástil, obenques y del aparejo de fijación de las escotas. Estas fuerzas también tienen una resultante del esfuerzo de las velas al casco. La relación de este punto con el centro de presión de la orza determina el equilibrio en el rumbo de un velero.

Un windsurfista debe encontrar el punto justo en la botavara para equilibrar la navegación de su tabla. Es el punto donde se ponen las cuerdas para colgarse del arnés. El centro justo en el sentido horizontal, es aquel donde puede soportar la vela con sólo una mano.

El equilibrio en el rumbo deseado en una tabla lo da la posición de el pié de mástil y los pies del tripulante.

Con las velas que existen en el windsurf, con la profundidad ubicada al 40% y con poco viento el

centro se traslada hacia delante. A medida que el viento se acerca a los 18 nudos, el centro o las manos se desplazan a la mitad de la botavara. Con viento de 25 nudos las manos van más atrás. Y con vientos superiores las manos deben abrirse porque la sustentación aparece y desaparece convirtiéndose en una navegación totalmente inestable.

En los barcos grandes ocurre exactamente lo mismo.

Cuando la vela está orientada con un ángulo adecuado de incidencia respecto al rumbo del viento, este centro de presión es susceptible de modificación gracias a las maniobras que dispone un velero y más que nada por la modificación de la profundidad y de la posición de la máxima profundidad. Mover la máxima profundidad hacia atrás podría significar que estás optando por generar más sustentación en la parte posterior de la vela, que en la zona cercana al mástil.

Es importante entender que mover la profundidad hacia popa o hacia proa no significa por sí solo que el centro de empuje se modifica, porque lo que se está haciendo con esa maniobra es modificar la forma de la vela y como consecuencia, la probable generación de fuerzas más atrás o más adelante.

Es posible que moviendo la profundidad a popa se genere más fuerza de sustentación en esa zona, y la presión directa por barlovento sume fuerzas a esa zona.

Si muevo la bolsa más a proa, probablemente tendré como resultado menos sustentación en la parte posterior, y más arrastre.

Se entiende la importancia que tiene el conocimiento de la generación de la fuerza de sustentación, ya que su desconocimiento hace que no entendamos cómo equilibrar el rumbo de nuestra embarcación. Esto es otro factor que hace la diferencia en la velocidad de botes iguales.

Cuando un bote tiene dos velas, cada vela tiene su propio centro de presión o centro vélico. Las fuerzas que actúan en dichos centros se pueden reemplazar por la resultante única que se relaciona con la fuerza que actúa en el centro de presión de la orza, determinando si un velero es “**ardiente**”, si es que soltando el timón tiende a orzar, o es **blando** si mantiene el rumbo o **malo** si tiende a hacer caer la proa a sotavento. El rumbo adecuado para saberlo es navegando a la cuadra sin escora.

Ahora que sabemos algo más de las fuerzas que actúan sobre una vela cuando navegamos en ángulos cerrados, podemos afirmar que la resultante de la fuerza de acción directa del viento o por presión directa, se ubica entre la mitad y el tercio delantero de la vela, y la resultante de la sustentación se ubica siempre más atrás. La resultante de esas fuerzas determina el centro de presión de la vela.

Al aumentar el viento y por lo tanto la fuerza de sustentación, ese punto comienza a desplazarse más hacia atrás, lo que determina que el velero se convierta en más ardiente y tienda a orzar. Esto nos obliga a meter más timón a sotavento y obviamente más freno. Si bruscamente se pierde la sustentación, el centro de presión es influenciado sólo por la fuerza de presión directa por barlovento, por lo que el centro de presión se mueve hacia delante, lo que modifica la posición del timón, pero a costa de perder potencia. Suele utilizarse para sobrevivir cuando el peso del viento no puede ser equilibrado con el físico de los tripulantes.

Es común ver textos que erróneamente ubican la resultante de la fuerza de sustentación próxima al mástil. Vemos que esto no es efectivo. Esta afirmación no es más que una copia de los perfiles bidimensionales empleados en alas de aviones que normalmente son ensayados en túneles de viento a elevadas velocidades y con ángulos de ataque fuera del rango del que emplean nuestras velas. Bajo esas condiciones, las alas generan la mayor diferencia de presión en la parte superior delantera y posterior inferior del ala, y aplicando leyes de conservación de la energía definen que esa parte es la que genera mayor sustentación. En nuestras velas el cuento es otro y la sustentación se genera tal como hemos

explicado y rara vez la sustentación se genera en la parte delantera de una vela salvo cuando está excesivamente cazada y la parte posterior es sólo un desorden de turbulencias

56.2.- Equilibrio de un Velero

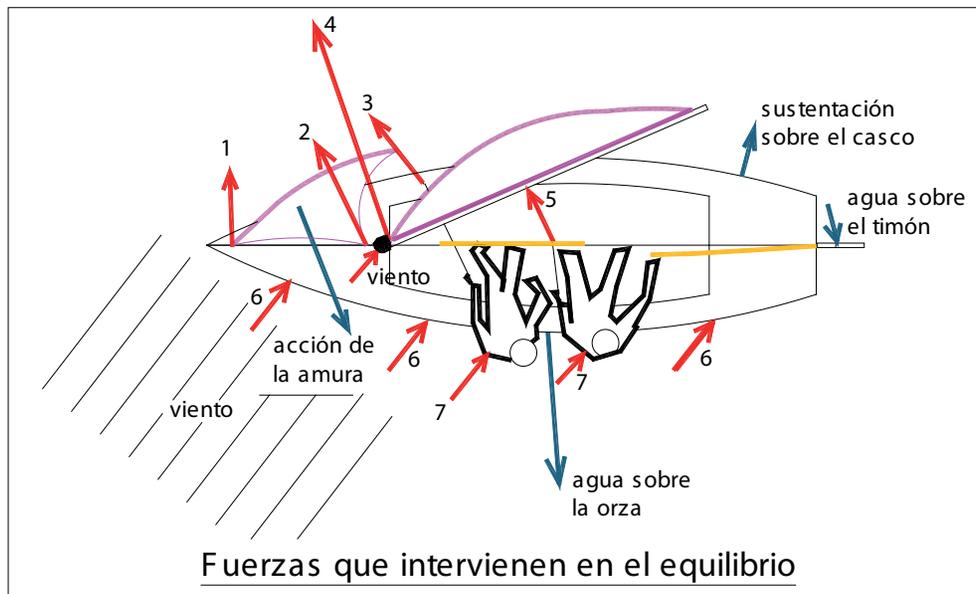
Debo decir que el tema del equilibrio de un bote navegando es un tema más complicado que lo que se ha dicho hasta ahora y sólo se puede entender cuando se tenga pleno conocimiento de las fuerzas que intervienen sobre el casco y velas en conjunto.

A manera de probar los conocimientos de algunos distinguidos navegantes, les consulté sobre las fuerzas que intervienen en el equilibrio de un velero. La respuesta fue sólo una: “el equilibrio depende de la relación del centro de presión de la orza y del centro de presión de las velas”. La respuesta se acerca a la realidad, pero es incompleta. Estas son las principales fuerzas, pero existen otras, que aparecen y desaparecen. Se suma a esto el hecho que los centros de presión también varían permanentemente.

Suponiendo que el mástil se encuentra en adecuada posición, el equilibrio de un bote se inicia con el análisis del centro de presión de las velas tal como lo hemos indicado, y su relación con el centro de presión de la orza o quillote, tal como fue la respuesta entregada por esos navegantes, pero además intervienen otros importantes detalles como la ubicación del aparejo del comando de las escotas de foque y mayor, (nunca se menciona ni se considera en los botes que conozco) la forma del casco, la escora, el tipo de orza y timón, velocidad, el abatimiento, rigidez y deformación del mástil, distribución de la carga, rumbo escogido, sustentación por sotavento, casco y velas, tipo de ola, etcétera.

Las orzas planas modifican su centro de empuje a medida que aumenta el ángulo de acometida del agua, determinado por el abatimiento. A mayor ángulo, más atrás se desplaza el centro de empuje. Es lo que sucede cuando ciñendo apunta en exceso. Las quillas con formas hidrodinámicas tienen un centro de empuje más estable y se ubica a una distancia cercana al 25% de la cuerda.

En el croquis siguiente he indicado, con dirección estimada, las fuerzas que actúan sobre el casco y que determinan su equilibrio en el rumbo. Como podrán apreciar no aparecen las resultantes de las velas que se aplican en el centro de presión, sino las que realmente actúan sobre el casco.



- 1.- Es la fuerza con que actúa el puño de amura sobre el casco.
- 2.- Es la fuerza con que actúa el puño de driza sobre el estay. Esta fuerza se trasmite al casco a través de puño de amura y por el mástil.
- 3.- Fuerza de la escota del foque que actúa en la mordaza del casco.
- 4.- Es la fuerza que proviene de la vela y se trasmite al casco a través de los apoyos del mástil o sea obenques y fondo del mástil.
- 5.- Es la fuerza de la vela que se trasmite al casco por la mordaza de la escota de la mayor.
- 6.- Es la acción directa del viento sobre el casco, mástil y arboladura en general.
- 7.- Es la acción del viento sobre los tripulantes
- 8.- Son las fuerzas del agua sobre el timón, orza, amura, que se oponen a las fuerzas del viento sobre el casco.

Debo destacar que las fuerzas resultantes del foque y mayor dependen de la acción directa del viento por barlovento y de sustentación por sotavento. Estas se transmiten al casco según lo indicado en el croquis. El punto en donde actúan sobre el casco y su dirección determina el equilibrio y la dirección del desplazamiento. Cuando se modifica el punto de acción de cada fuerza que interviene en nuestro velero, se modifica el equilibrio y el rumbo.

Rara vez se menciona la importancia de la posición del comando de la escota. Creo no haber visto una embarcación en que este punto pueda desplazarse, siendo de tanta importancia para el equilibrio.

Sólo he visto en algunas embarcaciones, que se puede modificar la posición de la escota en la botavara. Esto sólo puede influir en la acción de presión en el goosneck para deformar el mástil en una ceñida.

Navegue usted soportando el trabajo de la escota de la mayor sobre la botavara, y desplace su punto de apoyo hacia proa y hacia popa, siempre que pueda soportar su carga y verá de qué manera cambia el equilibrio.

Es un buen ejercicio navegar modificando las fuerzas señaladas y mirando cómo se ve afectado el equilibrio. Tratar de corregir el equilibrio sin el empleo del timón.

A manera de ejemplo, si la genoa o foque “pesa” más que la mayor, el bote tiende a caer a sotavento. Las alternativas de solución inmediata para mantener el rumbo son:

- Achicar la genoa.
- Mover el mástil hacia popa,
- Corregir con el timón a barlovento, que significa más freno,
- Permitir la escora para que la fuerza de la amura de sotavento actúe,
- Aumentar la sustentación que genera la aleta de sotavento,
- Cazar más la mayor, acercándola hacia la cruzjía,
- Soltar la escota de la genoa a más del eje de incidencia del viento,
- Aumentar el twist de la genoa moviendo el carro más a popa.
- Dar más bolsa a la mayor,
- Mover la máxima profundidad de la mayor a popa,
- Mejorar la sustentación de la mayor,
- Correr la base de soporte de la escota de la mayor más a popa,
- Cazar el vang al máximo,
- Aplanar y abrir la genoa,
- Modificar la posición de la tripulación,
- Otras que no se me ocurren por ahora y que ustedes pueden descubrir en cada bote.

Como pueden ver se trata de aumentar o disminuir fuerzas en costados opuestos para buscar equilibrio, como si se tratara de una balanza cuyo centro de giro es un punto cercano a la orza. Muchas de estas variables van claramente en desmedro de la velocidad, y deben ser evaluadas por el capitán en función del objetivo y buscar el mal menor. Un mástil mal instalado es un problema más común que lo que uno cree y debe graduarse para cada tipo de viento. (Tema interesante)

Muchas tablas de windsurf disponen de corredera en la base del mástil. Cuando el viento aumenta, y se desea una navegación más estable, se debe mover la base del mástil hacia proa. Eso traslada peso hacia proa y dificulta el inicio del planeo, pero equilibra la embarcación porque el centro de empuje se trasladó más a popa.

Los mástiles flexibles ofrecen más variables de equilibrio o mayores problemas para establecer equilibrio cuando se navega.

Un **bote equilibrado** no necesita timón salvo para cambio de rumbo, sin embargo un **bote bien equilibrado** es aquel que es capaz de navegar sin el uso del timón, con la máxima potencia en todas sus velas, tal como normalmente lo hace un windsurf.

Hace muchos años tuve el privilegio de navegar acompañando a un gran navegante de Laser en nuestro país, Tristán Aicardi. Yo hacía de partner para que probara sus comandos en busca de mayor velocidad. En una oportunidad no entendía por qué en la aleta no podía alcanzarme, sin ser yo un exper-

to. La explicación estaba en el windsurf, del cual yo era experto. En los días siguientes vimos a Tristán en mi windsurf buscando depresiones para tomar velocidad. Me contó, después de una regata, que su velocidad había mejorado notablemente.

Los yates que tienen dos mástiles, tienen más posibilidades para lograr equilibrio para un rumbo determinado. Usan la mesana para efecto de equilibrar a una genoa muy grande, de la misma forma que los timones de profundidad, ubicado en la cola de un planeador lo hace con las alas, por cambios del centro de presión en ellas.

La tarea de un navegante de regatas es equilibrar bien su bote para cada viento, ojala antes de la regata.

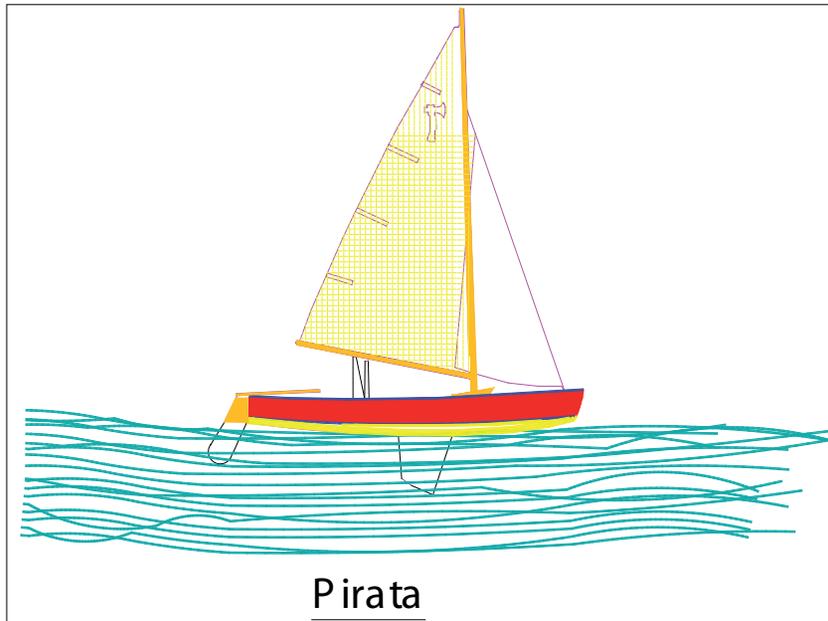
La escora hace trabajar las amuras actuando como timón, por lo que habría que agregar el concepto de escora al correcto equilibrio de un bote.

Los grandes botes siempre tienen un grado de escora, que es necesario considerar al momento de afinar un yate. El afinamiento y equilibrio de un yate grande siempre se termina navegando. Un bote pequeño es factible de adrizarlo o evitar el efecto amura sentándose más atrás, siempre que esa posición no mejore la sustentación del costado en la zona de la aleta, y sin aumentar el freno por arrastrar más agua.

Muchos capitanes prefieren pre-afinar su bote en tierra, principalmente modificando la caída del mástil, de manera que tenga tendencia a orzar, o sea tener un bote ardiente. Esto permite que las distracciones de la caña sumen altura a costa de perder velocidad. Pero recordemos que el viento es como la pasión; **a medida que sube, más ardiente se pone un bote.** Sin embargo a la luz de lo explicado ese afinamiento sólo puede ser referencial, ya que el definitivo siempre se completa en el agua y navegando.

Habitualmente usamos yates que vienen de diseñadores profesionales y aceptamos las indicaciones para la posición del mástil para determinada forma y dimensión de velas. Los navegantes, todos en general, somos campeones mundiales para modificar tamaños de velas y buscar variaciones del diseño original en busca de ganar esos pequeños metros que hacen la diferencia entre el ganador y la “manada”. Lo hacemos hasta donde la clase lo permite, porque efectivamente los diseños no cubren todas las alternativas, y es nuestra tarea descubrir esas pequeñas ventajas. Esto no se logra navegando por navegar, sino navegando para observar el comportamiento del velero para cada caso, partiendo por un mar plano y viento limpio, y posteriormente bajo otras condiciones.

El antiguo Pirata es un tema interesante:



Diseño: Carl Martens, 1938

- Eslora: 5 m
- Manga: 1,6 m
- Peso: 218 Kg (Listo para navegar)
- Calado: 0,2 m (orza arriba) - 1,05 m (orza abajo)
- Superf. Vélica: 10 m²
- Spinnaker: 10 m²
- Tripulación: 2 Personas (Peso óptimo = 140 kg)
- Construcción: Madera, PRFV, Sándwich

Los Pirata fueron diseñados por Carl Martens en el año 1938 con una superficie bélica de 10 m². y se quiso emplear en las olimpiadas de Berlín en la época de Hitler. Originalmente tenía un foque equivalente a un tormentín, o sea sin deskweeper, por lo que la posición del mástil era perpendicular a la línea imaginaria que une espejo de popa y mosquetón de proa. Hoy los focos tienen faldón en el pujamen para que generen más potencia y eliminen el vórtice inferior que se genera en esa zona. Si el mástil se mantiene en la posición del diseñador original, ese bote tiende a caer, o sea será blando o malo. Si el foque pesa más se debe actuar en consecuencia para corregir este importante detalle.

El comando de la escota de la mayor se emplazaba más atrás que la ubicación que hoy se les da en el traveller. Eso hacía que tendiera a orzar. Si ese comando se mueve hacia proa, el bote tenderá a caer, por tal motivo hoy al mástil debe dársele más caída. El equilibrio de un pirata actual ya no está definido por el diseño original porque se le han introducido modificaciones incorporadas al reglamento de la clase.

La ubicación del mosquetón de proa en donde se fija el estay de proa tiene por regla una posición definida, porque cualquier otra posición afecta el equilibrio y el canal entre foque y mayor.

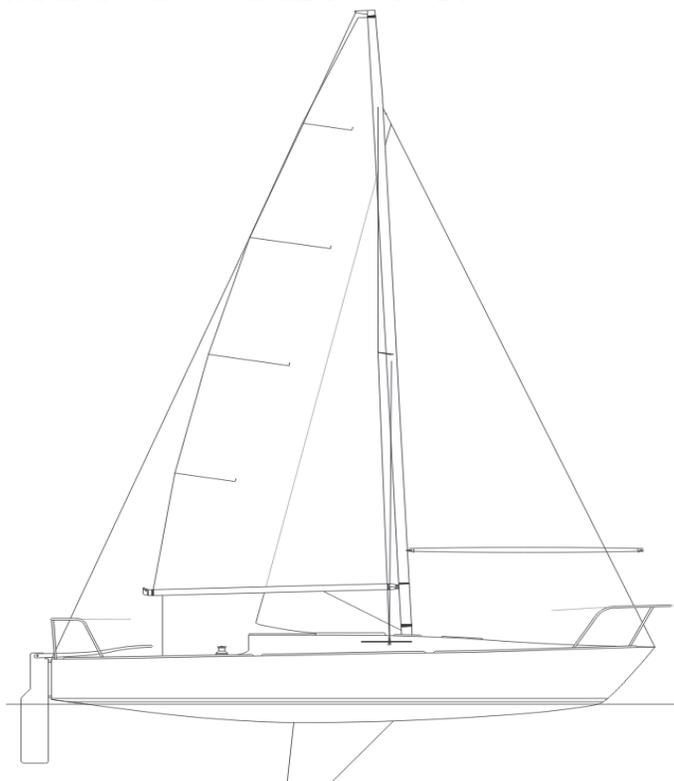
Los actuales Piratas son construidos en fibra de vidrio con mástil y botavara de aluminio. Tienen tantas opciones de comandos como un lightning para ajustar velas, caída del mástil deformación, traveller en el comando de la escota que permite mantener la forma de la vela mientras se ajusta la posición de la botavara.

Son botes maravillosos agrupados en clase que desarrollan gran actividad a nivel mundial.

En Agosto del año 2011 participe en la regata Europea de Piratas que se desarrolló en el lago Balaton de Hungría. Participaron 85 botes maravillosos, con equipos dignos de envidia. Se enfrentaron velas de último diseño de muchas f y calidad de telas.

La clase Pirata de Chile, tiene la responsabilidad de organizar el próximo mundial de la clase (2012) y se ha convertido en la clase monotipo con más botes modernos del país. El equilibrio de estos botes es un tema apasionante y felizmente, en eterna discusión.

Otra embarcación interesante de analizar es el **J-24**.



Perfil de un J24

Se sabe que los J-24 tienen un detalle importante en la relación mástil orza, por lo que quien no sabe o no conoce de qué se trata, jamás podrá resolver exitosamente el equilibrio. No faltan los que aconsejan erróneamente navegar con el timón trabajando con algún ángulo, o cerrar completamente la baluma para equilibrar el rumbo.

Observando este croquis, se puede apreciar que la mayor tiene una escasa cuerda con relación a la cuerda media de la genoa. Esta embarcación, con estas velas y por diseño tiene la tendencia a caer. Algunos expertos en **J24** dicen que navegan mejor con el vang muy cazado... Debemos decir al respecto que cuando se caza excesivamente el vang no sólo se cierra la baluma sino que se aumenta la profundidad y la máxima profundidad se mueve hacia popa, lo cual bajo determinadas condiciones mejora el andar, pero no es regla general.

Esta opinión dada por especialistas en J24 es respetable y es válida, sólo desde el punto de vista del equilibrio, porque el freno o arrastre aumenta excesivamente. La embarcación se torna más ardiente porque al llevar la posición de la máxima profundidad de la mayor hacia popa, la acción del viento por presión directa por la cara de barlovento es mayor en la zona de la baluma que en el gratil.

Sin embargo esta solución del equilibrio va directamente en contra de la forma más adecuada para lograr más potencia en el sentido del movimiento.

No considera las variaciones del aparente con la altura que se ajusta dándole twist., ni con la forma del canal o canaleta. Tampoco con el concepto de profundidad límite.

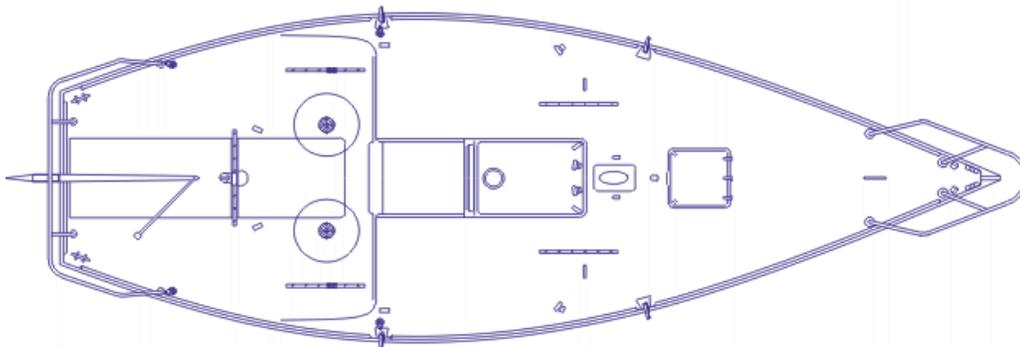
A través de los foros en Internet, o en las páginas de la clase internacional, los expertos recomiendan en ceñidas mantener la botavara siempre en el centro o sobrepasada. Esta afirmación, con respeto a los expertos, es claramente un error. El J24 es un yate que funciona con velas de la misma forma que miles de diseños y su óptima navegación no obedece a recetas en las que nunca consideran las condiciones de la superficie del agua en que se navega.

Si la posición del mástil no es modificable, ni menos la posición del quillote, los ajustes al equilibrio están basados entonces, en la distribución de los pesos de los tripulantes, es decir en el trabajo de las amuras y en el trimado de las velas, en la sustentación del casco en los costados de las aletas, en la tensión de las drizas de mayor y génoa, en la profundidad y twist de la mayor y en la posición de los carros de escotas de la génoa que cierran o abren las balumas.

Para equilibrar esta tendencia a caer, se puede dar mayor caída al mástil, pero la botavara queda demasiado baja, que ya es baja de fábrica.

Mi amigo Rolf acortó el mástil en 5 cm, para darle más caída al mástil y de esta forma hacerlo más ardiente. Ahora el bote se llama “El Sático”...

Mirando el croquis siguiente, pienso que este diseño fue calculado para navegar en ceñida con una pequeña escora, lo que hace que las amuras entren a trabajar, que es otra forma de corregir la tendencia a caer. Si se le da mucha caída al mástil y se navega con escora, queda un bote demasiado ardiente. Esta tendencia se acentúa cuando se navega en ceñida en mar con olas y con mucho viento. Nos fue imposible equilibrar su tendencia a orzar del Sático, aun cuando ocupamos foque. La mayor estaba demás.



Panta de un J24

Se puede apreciar la importancia que se le ha dado a las amuras comparadas con la reducida parte posterior del casco.

Con más velocidad la curvada popa puede generar una sustentación capaz de superar la capacidad de recuperación del agua y atenúa la tendencia a caer.

Navegando el **J24**, con foque, con el mástil en la posición de fábrica, queda bien equilibrado y puede optar a ceñidas más apretadas o con mejor ángulo y menos escora.

Un histórico yate.

Mirando un poco a la historia podemos recordar que el Lench II, barco usado por Sir Francis Chichester, en su travesía en solitario alrededor del mundo, debió ser reparado en la mitad de la travesía, en un puerto de Australia, para alargar el quillote hasta muy atrás, hacia la popa y mejorar el equilibrio, ya que tenía una enorme tendencia a orzar. Las enormes olas con que se encontró en el mar de Tasmania

levantaban su popa y la aceleración que le imprimían en la bajada, como si se tratara de una tabla de surf, le provocaron un par de molestos volcamientos. El Lench II se adrizó sólo.

Optimist

Los Optimist tienen normalmente dos motones de comando en el fondo del casco. Para condiciones de equilibrio no es lo mismo usar sólo uno u otro. De acuerdo al circuito de regata, no es lo mismo usar la percha por una banda que por la otra. De acuerdo al viento y el peso del tripulante debe modificarse la ubicación del motón de la botavara, la caída del mástil, etc

Láser

El equilibrio de un Láser depende en gran medida de la posición de la fogonadura, que por regla de la clase tenía un rango de variación en la ubicación. Esta regla puede haber variado en la actualidad. Todos los cascos no son iguales, salvo en las olimpiadas. Depende además de la flexibilidad del mástil tema raramente considerado en nuestro medio y de la forma que se le da a la vela. Por las fotos que se publican normalmente, podemos afirmar la forma de las velas en los Láser no es la especialidad de nuestros navegantes.

El grado de abatimiento, que normalmente no consideramos para el equilibrio del bote, también desarrolla un papel importante en esta obra, porque un mayor abatimiento significa dar mayor ángulo de incidencia a la orza, que actúa como un “ala de avión”, con lo que aparece una fuerza de sustentación que modifica el centro de presión. Esto equivale a mover o a tener la orza un poco más a popa, con lo que todo el proyecto de equilibrio debe ser nuevamente analizado.

Al optar por quillas de menor cuerda, en otros botes, este efecto tiende a ser menor. Si desea seguir complicando las cosas, agregue ángulo de incidencia a su timón para equilibrar el rumbo.

En las orzas planas, un alto abatimiento provoca sólo turbulencias y freno por sotavento. En botes de esas características tratar de apuntar mucho siempre será a costa de generar un mayor arrastre.

En la alta competición, cuando todos los competidores son físicamente aptos, mentalmente preparados y con total conocimiento del arte de navegar, esos pequeños detalles para equilibrar un bote, hacen una gran diferencia.

57.- Ala de planeador.

He creído conveniente insertar la experiencia desarrollada en un planeador, para reafirmar el concepto de inestabilidad en los perfiles de formas cóncavas o curvadas.

Los fabricantes de planeadores siguen buscando formas de perfiles de alas para las condiciones en donde van a ser usados, para que otorguen más tiempo en el aire y con más agrado y seguridad.

Se realizó la siguiente experiencia en un perfil **Eppler 193** de planeador, que fue posteriormente llevada a números o cálculos:

Se sabe que los perfiles bidimensionales tienen el centro de presión geométrico establecido en el 25% de la cuerda medido desde la parte delantera del ala. El centro de presión real se desplaza con el ángulo de ataque, con la velocidad y con la curvatura del extradós. Se sabe que el mejor rendimiento de un perfil se obtiene cuando la relación entre el alzamiento y el arrastre es máxima. Mayor fuerza vertical con el menor arrastre. En este perfil esa relación máxima es de 0,70 a una velocidad de 150 k/hora.

Hechos los ensayos se pudo determinar que:

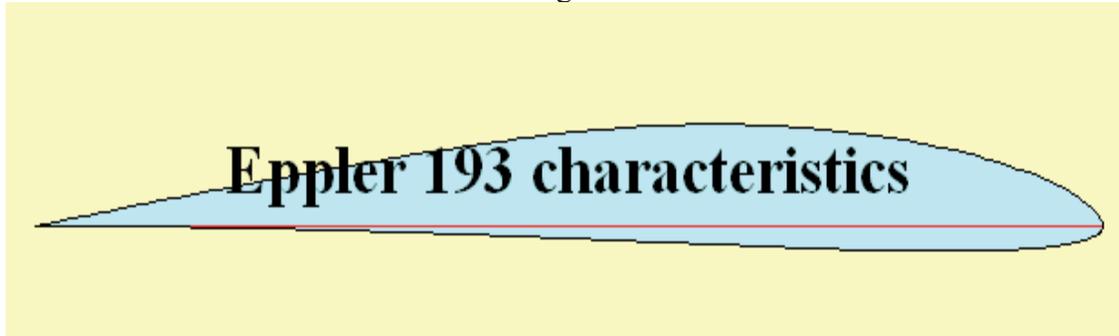
1.- El mejor rendimiento se obtuvo cuando el C. P. se ubicó en el 36%.

2.- La mejor velocidad, cuando el C.P. se ubicó en el 51%.

3.- Que el máximo planeo se obtuvo con el C.p en el 31,50 % de la cuerda.

Este ensayo en un planeador no nos sirve para sacar conclusiones de formas de vela, o de un qui-

lote, sin embargo es importante rescatar que el centro de presión se desplaza y que ese desplazamiento cambia las condiciones o características de la navegación.



Pero ahora que nosotros sabemos de sustentación, podríamos contarle a los que usan planeadores, que el centro de presión se desplazó hasta la mitad de la cuerda precisamente porque con la velocidad, aumenta la sustentación y esa se produce en la zona en que el viento cambia de dirección adherido al extradós del ala, o sea en las alas que ellos emplean, un poco más atrás de la máxima profundidad, mientras que por el intradós el centro de presión permaneció en el mismo punto, o sea cerca del 25%.

La mayor velocidad se logró cuando redujeron el arrastre, o sea cuando el ángulo de incidencia se redujo. Tal como vimos anteriormente, si el flujo es paralelo a la cuerda, desaparece el alzamiento por el intradós.

Si intentamos explicar este fenómeno por diferencias de presión, no existen los argumentos necesarios. Según esa teoría al aumentar la velocidad, la diferencia de presión se hace más grande en la zona de máxima curvatura y esa está normalmente a 30% del punto de ataque, por lo que a mayor velocidad el centro de presión debería haberse movido hasta 30% como máximo, lo que no ocurrió.

58.- Alas de avión y quillote.

Decir que un ala de avión y un quillote trabajan de igual manera, pero uno en el aire y otro en el agua, es correcto.

El quillote es un perfil bidimensional simétrico de forma aerodinámica que cumple la misma función que un ala de avión, pero en el agua.

Funciona en nuestros veleros con un ángulo de incidencia equivalente al abatimiento, de la misma forma que lo hace el ala de avión en el aire. Las alas de aviones y los quillotes entran en pérdida de sustentación, es decir dejan de trabajar cuando la incidencia excede un porcentaje típico para cada perfil. Cuando un avión entra en pérdida de sustentación cae como una piedra al suelo. Cuando un quillote entra en pérdida de sustentación, o sea cuando el abatimiento comienza a superar los 14 grados, deja de avanzar en el rumbo de la crujía o hacia donde apunta la proa.

Las alas de aviones no son simétricas es decir tienen distinta forma o radio de curvatura entre sus dos costados. Los perfiles aptos para quillotes deben ser simétricos porque deben trabajar desarrollando las mismas características por ambos costados.

El centro de presión de un ala de avión se desplaza con la velocidad y con el ángulo de ataque. Existen perfiles de alas de avión en que el centro de presión se ubica en el extremo y a mayores velocidades el centro se desplaza fuera del ala.

Un perfil simétrico es apto para quillote por tener un centro de presión que se desplaza siempre dentro de su cuerda o sea es mucho más estable que los perfiles empleados en la aeronavegación.

59.- Alas de avión y velas

El flujo de aire actúa sobre un velero a baja velocidad, un avión actúa sobre el aire a alta velocidad.

Nuestro velero está formado básicamente por velas, casco, orza y timón.

Un avión, por motor, fuselaje o cuerpo, alas y timones de profundidad.

El motor del avión son nuestras velas.

El fuselaje o cuerpo es equivalente a nuestro casco,

Las alas son nuestra orza o quilla,

El timón de profundidad es nuestro timón.

Muchos afirman que las formas o perfiles de secciones de las alas de un avión son aplicables a una vela. En su libro, Manfred Curry inició el tema afirmando que eran lo mismo.

La verdad es que pueden semejarse en algo, sobre todo porque ambos funcionan en contacto con el aire.

Un ala de avión se desplaza en el aire. Nuestra vela funciona si el aire se desplaza, o sea si existe viento.

Ambos perfiles tienen por objetivo crear un tipo de “alzamiento” con el menor arrastre, pero:

El ala de avión lo hace buscando generar vacío por sotavento.

Nuestra vela tratando de mantener adherido el flujo por sotavento.

El ala de avión busca perfiles que generen alzamiento en contra de la fuerza de gravedad empleando ángulos variables de incidencia del flujo de aire sobre el ala.

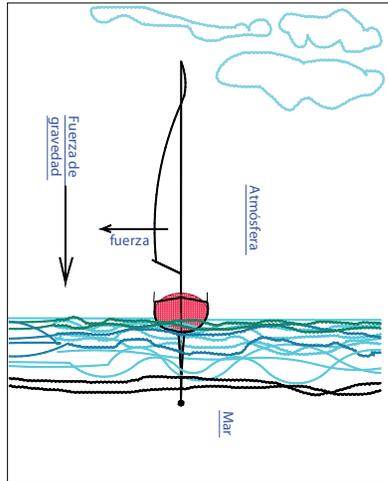
Nuestra vela tiene que mantener un solo ángulo de incidencia que debe estar en acuerdo con el ángulo de ataque.

Es un error decir que un ala de avión y una vela de un velero son lo mismo.

- La función que desarrollan en sus respectivos aparatos, avión o yate,
- La diferencia de espesor de un ala con una vela,
- La estructura, una rígida y la otra flexible,
- El gran ángulo variable de incidencia del flujo de aire sobre un ala,
- El rango en que entran en stall o pérdida de sustentación,
- Los rangos de velocidad en donde actúan,
- Las diferencias enormes de densidad del aire en donde trabajan,

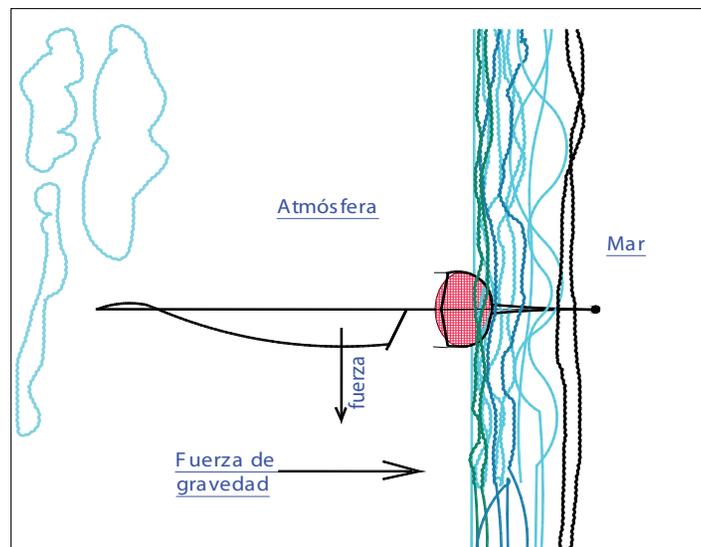
La comparación de estos aspectos, como veremos, hace una diferencia tan grande que podemos decir categóricamente que **una vela y un ala de avión son la misma cosa, es definitivamente un error.**

Esto no quiere decir que si en nuestro velero en lugar de una vela ponemos un ala de avión, este no se moverá. Va a desplazarse, porque un velero está pensado para desplazarse en el sentido de la cuerda del quillote. De hecho un velero puede desplazarse a “palo seco” es decir sin velas.



Hemos visto, que la función de un ala de avión es crear alzamiento, es decir una fuerza en el sentido opuesto al de la gravedad. Si esa fuerza tiene una componente en el sentido o en contra del movimiento, no es un problema para un avión, porque la impulsión la resuelven con un motor, y si llegamos a analizar los planeadores, el motor es una componente de la fuerza de gravedad. A diferencia, de esto, nuestras velas deben crear una fuerza resultante cuya componente debe obligadamente tener el sentido del movimiento. Si eso no ocurre nuestro bote no se mueve.

Nuestro velero es un avión que vuela entre el agua y el aire, con la mitad del tronco o fuselaje y un ala inmersa en el agua, que trabaja como ala. La arboladura equivale al peso o fuerza de gravedad en un avión.

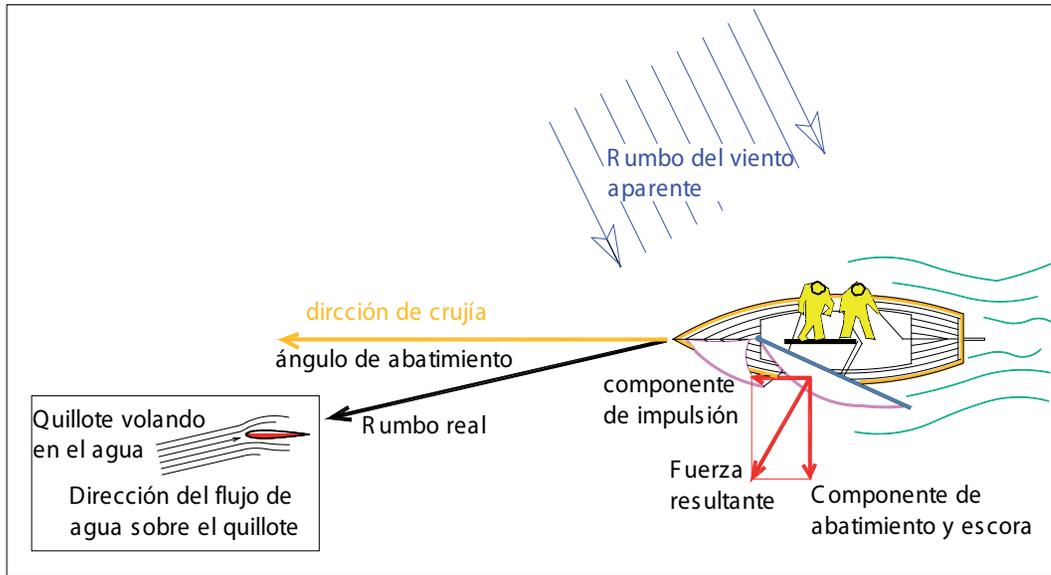


No estamos acostumbrados a mirar el mundo de esta manera pero se puede.

Los perfiles aerodinámicos estudiados, diseñados y usados en alas de aviones, sirven para diseñar orzas o timones, tal como veremos en el título destinado al quillote y orzas. Los perfiles de quillotes más empleados tradicionalmente, son los N.A.C.A. 009 y N.A.C.A. 0012 que son simétricos y sus variaciones posteriores.

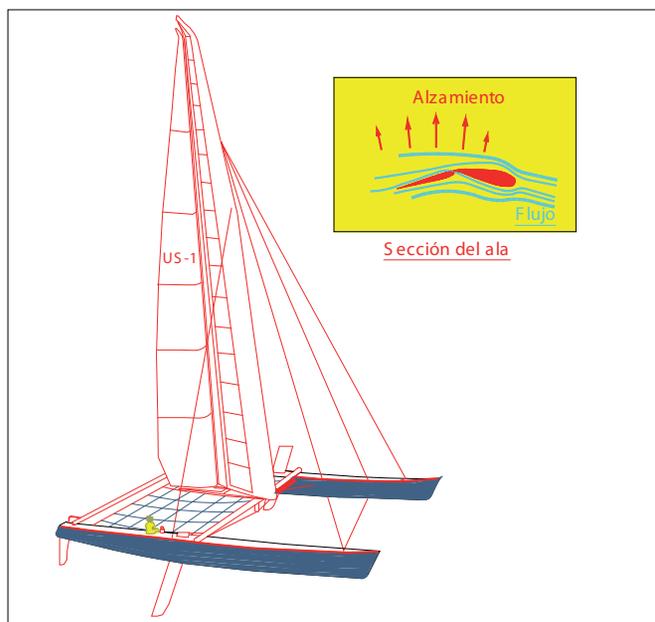
Sin embargo las cuerdas o ancho de los quillotes son un claro ejemplo que no se ha considerado para nada la capa límite y su separación. En los últimos años se están diseñando quillotes similares a las alas de planeadores es decir de una gran envergadura, que eliminan el freno por separación del flujo, o sea considerando a Reynolds.

Es conveniente recordar que cuando navegamos, en cierta forma estamos volando con un ala en el agua, con un ángulo de incidencia del agua sobre el ala o quillote equivalente al ángulo de abatimiento, tal como lo grafica el croquis siguiente:



Nadie ha diseñado alas de avión para que vuelen a velocidades menores de 15 nudos. Para ese rango de velocidades, sólo se ha llegado a diseñar aparatos de “vuelo con velas” que raramente vuelan a menos de 30 kilómetros por hora.

Podría considerarse como excepción, un catamarán construido para la Copa América versión 1988, que en lugar de una vela convencional emplearon un mástil de gran cuerda articulado con una vela bidimensional, rígida, que se semejaba un ala de avión, de 25,9 metros de alto y una cuerda inferior de 7,31 metros.



Con este sistema lograron extraordinarias velocidades que les permitió vencer el desafío y conquistar cómodamente el preciado trofeo. Sin embargo las duras críticas de sus oponentes aun se escuchan.

Esta ala empleada en este catamarán no es un ala común, sino una liviana y muy esbelta estructura que en realidad constituye una vela rígida precedida de un mástil pivotante de forma aerodinámica que puede orientarse a la incidencia del viento. Un monocasco convencional, con un ala empleada por un avión no podría pretender ceñir en ángulos que logra con las velas que normalmente empleamos. Menos aun si cambia de amura.

El perfil del ala de avión es un perfil con espesor, es decir es un perfil bidimensional, por estructura y que está calculado para determinada carga, con una forma o diseño adecuado para una velocidad específica, que es la que genera el máximo alzamiento con el menor arrastre en un ángulo determinado. La variación de esto lo constituye la densidad del aire que disminuye con la altura, pero que se resuelve con un mayor ángulo de incidencia y con el motor que se dimensiona de acuerdo a esa capacidad de alzamiento a determinada altura.

A la velocidad de vuelo necesitan un extradós casi plano sin embargo los aviones a velocidades medias y altas emplean más la presión directa que la sustentación entendida como cambio de rumbo del flujo, que es mínima por sotavento, excepto a la hora de aterrizar, porque a esas velocidades parte del flujo puede permanecer adherido al extradós.

El ala de un avión necesita obligadamente la aplicación de una fuerza para funcionar a la velocidad para la cual fue diseñada, ya sea la de un motor o la de la fuerza de gravedad cuando los motores fallan y es necesario entrar en planeo. Para vuelos más lentos tienen dispositivos que modifican la cuerda y la curvatura por medio de alerones movibles.

La vela, aparte que no es de material rígido no tiene espesor, o sea es un perfil unidimensional que genera alzamiento sólo si el ángulo de incidencia del viento coincide o se aproxima a la tangente de la curvatura del gratil. Si la vela fuera de material rígido, podría tener la opción de funcionar con un ángulo incidencia del viento menor a la tangente mencionada, y aun así generar sustentación, pero con poca acción de presión directa por barlovento.

La vela necesita del apoyo de la orza y de todo el plan antideriva para evitar el abatimiento, así como un avión necesita de sus alas para no caer.

La fuerza de gravedad es el motor en un ala delta o de un planeador, cuando no hay viento. Las alas de esos aparatos definitivamente trabajan como nuestra orza.

Filosofando un poco: si navegáramos siempre en un solo rumbo, podríamos tener un buen rendimiento con una orza con la forma que genere el esfuerzo de nuestra vela, pero con la concavidad opuesta ya que trabajaría por presión directa y además generaría sustentación con menos arrastre.

Siguiendo con la filosofía, me imagino que se podrían fabricar orzas o quillas de borde rígido y de superficie media con un grado de deformabilidad, de manera que cuando navegue amurado a babor, la quilla por efecto de la presión del agua forme la concavidad hacia babor, generando sustentación hacia esa banda en oposición al abatimiento. En las popas, la sustentación por cada costado permite recuperar la forma aerodinámica.

Pero, volvamos al tema.

Nuestras velas necesitan que la incidencia del flujo de aire entre con no más de dos grados de diferencia con la forma del gratil de la vela. Jamás podríamos postular un ángulo mayor sin arriesgar entrar en pérdida de la sustentación por sotavento.

Otro tanto ocurre con el “centro de presión”. En el ala de un avión o de un planeador, este centro se desplaza a medida que se cambia el ángulo de ataque, equivalente al ángulo de cazado en nuestras velas.

Estudios realizados por Eiffel para su famosa torre, demuestran que en una placa plana expuesta a un flujo de aire el centro de presión se mueve hacia atrás a medida que aumenta el ángulo de incidencia y al revés cuando el ángulo disminuye. (orza plana)

En un ala con cero grado de ataque (se mide respecto a la cuerda) se genera sustentación en la parte posterior del extradós, o sea a partir de la zona de máxima profundidad hacia atrás, y el centro de presión sin el aporte de fuerzas del intradós se mueve más aun hacia atrás. A medida que toma un pequeño ángulo de ataque la sustentación puede aumentar, pero entra a compensar la fuerza generada por acción directa del viento en el intradós (barlovento) que se aplica muy adelante para pequeños ángulos. A medida que el ángulo de ataque aumenta, la sustentación provocada por la parte posterior del extradós disminuye por las turbulencias que se generan y aumenta la fuerza vertical de la cara expuesta al viento. El centro de presión se acerca a la zona de ataque alrededor del 25% medido desde la zona de ataque, o sea como si se tratara de una placa plana.

Los molestos efectos de cambio de centro de presión, se corrigen en un avión con los timones de profundidad ubicados en la cola, que cumplen la función de estabilizadores de rumbo en el sentido vertical.

En nuestras velas no nos interesa medir en donde se concentra el centro de presión a medida que cambiamos el ángulo de cazado, ya que esta opción para la óptima navegación no debería existir a menos que se trate de un principiante que caza en exceso la escota. Sin embargo es importante ver cómo varía el centro de presión a medida que aumenta la velocidad del viento para corregir el equilibrio.

- El rango en que entran en stall o pérdida de sustentación.

Otro concepto que hace enorme diferencia de una vela con el perfil de ala de avión es el rango en que se produce la pérdida de sustentación o stall o “estoleo”. En casi todos los perfiles bidimensionales, se provoca stall entre los 14 y 16 grados medidos en la cuerda.

En un perfil rígido con forma similar a nuestras velas, con poco viento la entrada a stall puede iniciarse alrededor de un ángulo de ataque de 46 grados y con viento fuerte, reducirse a un rango de 28 grados respecto a la cuerda. Estos resultados los obtuve en un túnel de viento.

Los estudios realizados para la aeronavegación han sido de enorme utilidad para el aprendizaje de la forma en que actúan los fluidos, pero esos estudios siempre se refirieron a perfiles de sección bidimensional y poco o nada hablan de perfiles planos o de sección unidimensional. Todos los perfiles N.A.C.A. analizados son bidimensionales, porque en la loca carrera del desarrollo de la aeronavegación a principios del siglo XX, las velas no eran el motivo de sus preocupaciones.

A principios del siglo veinte, Eiffel desarrolló experiencias con perfiles para determinar el grado de arrastre con los perfiles que tenía proyectado usar. Analizó placas planas y tres cóncavas de distinta profundidad, a distintos ángulos de incidencia. Sus trabajos tienen resultados similares a los que yo obtuve un siglo más tarde, sin saber de la existencia de ellos. No fue una pérdida de tiempo, porque mis ensayos han sido orientados hacia formas de perfiles de vela, que me han permitido efectuar observaciones a la aplicación de estos ejemplos a la vela y además ahora tengo más confianza al opinar sobre mis experiencias, que sobre otras ajenas.

Estoy seguro que muchos han llevado a cabo experimentos con perfiles curvados, sobre todo las grandes empresas que fabrican velas, sin embargo esas experiencias y las de Copa América son poco difundidas y casi pasan a ser secretos profesionales.

Tales circunstancias, sumadas a la poca nomenclatura práctica y entendible a la que podemos normalmente acceder, me motivó a desarrollar ensayos en un túnel de viento que me facilitó la Universidad de la Serena, experiencia que resulto ser de gran valor para lo que nos interesa y que veremos mas adelante en el capítulo correspondiente.

- El rango de velocidad en donde actúan.

La conclusión más importante que podemos obtener de estas diferencias entre un ala de avión y una vela, es que el viento actúa de forma distinta a velocidades menores, como las que empleamos para navegar y las velocidades que necesitan los aviones para poder mantenerse en el aire.

A menores velocidades la viscosidad permite que la masa de aire interactúe, generando freno por roce sobre las superficies expuestas al flujo, y lo más importante, ejerciendo una oposición a la separación de las moléculas adheridas a la superficie de la vela por sotavento. La explicación puede entenderse con un ejemplo:

Las moléculas del aire están siempre en permanente movimiento a grandes velocidades. En su trazado, estos muchos millones de moléculas por centímetro cúbico, se entrecruzan de la misma manera que las varas de trigo lo hacen cuando están en un fardo. Si usted trata de separar con la mano una parte de ese pasto, notará que debe efectuar un trabajo, aplicar una fuerza en contra de las varitas que permanecen entrecruzadas. Esa es la lucha en contra de la viscosidad del aire, que con valores mucho menores efectúa una oposición a la separación de las moléculas de aire.

A altas velocidades de desplazamiento, un ala de avión o cualquier objeto sólido modifican la estructura de la masa de aire generando vacío, es decir zonas a sotavento en que prácticamente existen menos moléculas de aire. Los españoles que practican vuelo a esta zona la llaman “rebufo”.

Para imaginarnos lo que sucede en el aire veamos lo que sucede en el agua: si usted deja caer una enorme piedra en la superficie del agua, en un breve instante queda una cavidad en que no hay agua, y en un breve lapso de tiempo el agua retoma su posición de equilibrio. Se provocó un vacío de agua. A altas velocidades un ala de avión o cualquier sólido provocan un vacío (que nunca es absoluta), pero el volumen vacío al igual que el agua se recupera rápidamente por la fuerza con que la gravedad aplasta a las moléculas que componen la masa de aire hasta equilibrar nuevamente la situación antes de la irrupción. La recuperación del espacio vacío involucra a la superficie del ala, de la misma forma en que el resto de las “paredes o bordes” del volumen vacío, que se mueven para equilibrar la presión en ese volumen. De esta forma el aire provoca sobre el ala una fuerza en el sentido del volumen vacío. Si el vuelo es horizontal la fuerza es en contra de la fuerza de gravedad.

A altas velocidades es lícito decir que un avión se mantiene en el aire por la acción directa de las moléculas de aire que actúan en la cara del intradós y por el vacío que se genera por el extradós, cuya suma, en la aeronavegación llaman sustentación o alzamiento.

A bajas velocidades, nuestras velas actúan desviando el viento o flujo de aire. Por barlovento la fuerza captada es producto de la acción directa de la energía del movimiento y masa de las moléculas que se desplazaban en un sentido. Por sotavento, se provoca la sustentación en los términos latamente explicados anteriormente. Cuando el viento para nosotros es excesivo, y escaso para la aeronavegación, la fuerza de sustentación desaparece de sotavento de nuestras velas y es reemplazada por turbulencias que a esas velocidades provocan las masas de aire que se recuperan o llenen el espacio sin que se provoque vacío, como sucede con un ala de avión a gran velocidad.

Podemos afirmar que el viento actúa de diferente manera sobre los cuerpos cuando actúa a bajas y altas velocidades.

La gran tarea de los navegantes es organizar las velas para desviar el máximo flujo de aire en el mayor ángulo posible sin provocar turbulencias en el flujo mientras se desliza por sus costados.

El contacto de la superficie de las velas con el flujo es fundamental para la generación de fuerzas. Si se provoca el desprendimiento o separación del flujo, porque el número de Reynolds es superior a cifras del orden de 1.000.000, la generación de fuerzas por sotavento comienza a desaparecer. En un ala de avión esa cifra es fácilmente superada mientras intenta despegar, y en pleno vuelo la sustentación como se entiende en las velas, desaparece para establecer por el extradós, zonas de vacío o menor presión, pero no por diferencia de velocidad entre los costados del ala sino por simple acción del sólido a gran velocidad sobre el estado normal del aire.

Una vela es diferente por forma y por funcionamiento con un ala de avión, y lo que es válido para nuestras velas no lo es para un ala de avión.

La orza y quillotes actúan en el agua como un ala de avión, pero afirmar que nuestras velas trabajan como un ala de avión es un error histórico que no debemos seguir repitiendo.

Octava Parte

60.- Las velas

La función de la vela de una embarcación, es desviar la mayor cantidad de masa de aire en el mayor ángulo posible, con la mínima generación de turbulencias. O sea permitir que la energía del viento se manifieste en beneficio del movimiento que pretende una embarcación.

Cuando en un gran navío interactúan foque y trinquetilla, juanetes, mayor y cangreja, la tarea es la misma.

El objetivo de la disposición de las velas no es generar diferencias de presión entre los costados de la vela, las que eventualmente podrían llegar a producirse en una mínima cantidad como consecuencia de un trabajo mecánico provocado por un viento huracanado.

La desviación armónica de un flujo de aire, para obtener la máxima transferencia la energía hacia la embarcación, debe producirse tanto en la vela de un Optimist como en el buque escuela La Esmeralda con todas sus velas desplegadas.

La tarea de los tripulantes es dar la forma adecuada a las velas y coordinar el ángulo de incidencia del viento con el ángulo de ataque, y de fuga para que ese propósito se cumpla en beneficio del rumbo pretendido.

El objetivo de este capítulo es enseñar a los navegantes a observar esos pequeños detalles, que optimizan las características físicas de las velas, cuando actúan solas y cuando lo hacen en sociedad de acuerdo al medio en que deben funcionar, para que su función se cumpla.

Una embarcación puede navegar sólo con la presión del viento por barlovento de una vela, pero para que tenga más potencia y menos freno, que se traduce en mayor velocidad, la tripulación debe saber crear la fuerza de sustentación por sotavento.

En ese rumbo orientaremos esta parte de los apuntes.

Las características que nos interesan de una vela se pueden agrupar en:

- 1.- **Características Físicas y**
- 2.- **Características Geométricas:**

61.- Características físicas de las velas.

En las alas de aviones las características físicas básicas, como alzamiento, arrastre, relación alzamiento arrastre variación del centro de presión, han sido estudiadas con minucioso detalle, y encailladas en registros, cada una con nombre propio.

Algunos perfiles de alas de avión estudiadas y clasificadas por NACA

0006	2206	2306	2406	2506	2606	2706
0009	2209	2309	2409	2509	2609	2709
0012	2212	2312	2412	2512	2612	2712
0015	2215	2315	2415	2515	2615	2715
0018	2218	2318	2418	2518	2618	2718
0021	2221	2321	2421	2521	2621	2721
0025	4206	4306	4406	4506	4606	4706
	4209	4309	4409	4509	4609	4709
	4212	4312	4412	4512	4612	4712
	4215	4315	4415	4515	4615	4715
	4218	4318	4418	4518	4618	4718
	4221	4321	4421	4521	4621	4721
	6206	6306	6406	6506	6606	6706
	6209	6309	6409	6509	6609	6709
	6212	6312	6412	6512	6612	6712
	6215	6315	6415	6515	6615	6715
	6218	6318	6418	6518	6618	6718

Las características físicas de nuestras velas de fábrica, lamentablemente no han sido estudiadas con la misma rigurosidad. Las nuevas generaciones de velas deberían al menos, describir la capacidad de generar fuerza, arrastre, relación alzamiento arrastre, para la profundidad que fue diseñada.

La realidad en esta materia es que se fabrican velas con la profundidad entre el 35 y 40%, modificando la profundidad aprovechando la experiencia de buenos navegantes. Pedir una profundidad especial o una ubicación de la máxima profundidad ya les crea problemas.

En una oportunidad solicité a unos ejecutivos importantes de Quantum que me fabricaran una vela según las especificaciones mínimas de profundidad de 18% al 60% en todo el alto. No entendieron lo que pedía y me pusieron en contacto con un destacado ex campeón que estaba a cargo del aspecto técnico de esa fábrica. Cuando le especificué por escrito lo que quería, no me contestó más.

En España, según nos contó un instructor venido de esas tierras e invitado por Fedevela, los competidores de Optimist tienen velas para cada peso y condición de viento. El Campeón español disponía de 12 velas diferentes y todas tenían las dimensiones reglamentarias.

En botes de clase, lo que más interesa es conocer las características físicas, porque las dimensiones son iguales y la diferencia está en el empleo de los ajustes para dar a la vela las propiedades que se necesitan para cada velocidad de viento, estabilidad del viento, el estado de agitación del agua en que se navega y peso del tripulante. Quien entiende como lograr la potencia requerida, sin recetas ajenas, tiene una gran ventaja sobre el resto de los competidores de regatas.

Las variaciones de forma de una vela son tantas, quizás más que los perfiles aerodinámicos empleados en la aeronavegación, que podría justificarse esa falta de encasillamiento técnico, sin embargo, en el caso de algunas grandes e importantes fábricas que están haciendo velas casi rígidas con pocas posibilidades de modificación, salvo las que pueda introducir el mástil en el ángulo de ataque y boomvang en el twist, deberían indicar la capacidad de generación de alzamiento y arrastre, y las variaciones del centro de presión, pérdida de la sustentación considerando los pequeños ángulos de variación que permite una vela, para el rango de velocidad de viento que fue diseñada, permitiendo al capitán escoger la vela adecuada según las condiciones promedio de navegación.

Sin duda que los escasos investigadores del funcionamiento de las velas están es deuda con la información de las características físicas de las velas más comunes que empleamos.

Algunos textos dedicados al tema nos muestran algunas características de un perfil parecido a una vela, y analizan la forma en varía **el alzamiento** (Palabra copiada de la empleada en aeronavegación para indicar la fuerza en contra de la fuerza de gravedad) y **el arrastre**, pero con **¡distintos ángulos de incidencia del viento!** Este experimento es copia exacta de lo que se hace en aeronavegación, porque las alas de un avión efectivamente deben funcionar con distintos ángulos de incidencia. **Nuestras velas... ¡no funcionan con distintos ángulos de incidencia!**

El ángulo de ataque describe una forma geométrica para determinar el ángulo de curvatura en el gratil o en la primera parte de nuestra vela, la que define la incidencia del viento. Los cambios de incidencia del viento, una vez fijado el ángulo de ataque, lo dejamos para los que se inician o los distraídos, pero no deberíamos tener cambios que afecten la justa incidencia del viento en que la fuerza generada es la óptima y el arrastre controlado.

Cuando el ángulo de incidencia no está en acuerdo con el ángulo de ataque de una vela, pierde potencia, aumenta el arrastre o freno en forma considerable y desequilibra la embarcación, lo que obliga a meter timón que es el freno natural de cada bote.

Esos experimentos, similares a los que personalmente efectué en un túnel de viento, no nos sirven más que de comparación con otros perfiles de similar tamaño, con distintas características geométricas, tal como se analiza en ese capítulo, y esa es la única utilidad para nuestro tema.

Hacer un registro con las características físicas de las velas flexibles con una determinada forma, para un determinado viento, es una tarea enorme, pero que se puede llegar a realizar.

Mientras eso no ocurra, cada navegante que participa en regatas debe llegar a determinar al menos la **profundidad límite** en su vela para determinado viento aparente. Hoy existen anemómetros manuales bastante exactos y nuestra vela de regata está esperando que marquemos la posición de los ajustes. A partir de esas marcas deberemos afinar nuestro bote mientras navegamos.

En una interesante clínica que dictó Matías del Solar, campeón de Laser, con muchas regatas internacionales en el cuerpo, nos mostraba su sistema de marcas en la botavara para el outhaul, ajuste que regula la profundidad de la vela, el del Cunningham en el mástil, ajuste que regula la posición de la profundidad respecto a la cuerda, principalmente en la parte media y baja de la vela, la tensión del boomvang con marcas en el cabo respecto a la mordaza, ajuste que regula la tensión de la baluma, y que aumenta la profundidad y mueve la mayor profundidad a popa, y el twist. Fue un valioso aporte.

Se entiende que estas marcas responden a algo. Para él esas marcas, de acuerdo a su experiencia, estaban referidas a como él sentía el bote, y a la velocidad que lograba respecto a otros competidores.

Está claro que esas marcas son para determinado viento y que son útiles como referencia cuando cambia la velocidad del viento, pero no son definitivas porque siempre debe considerarse las condiciones del agua en que se navega y eventualmente la temperatura del aire. Las marcas para un viento de 10 nudos varían o deberían variar cuando el mar está agitado, cuando tiene grandes olas formadas, cuando el mar está plano y cuando las temperaturas son diferentes al momento en que se hicieron.

En todas estas variantes, además debe tenerse claridad del fenómeno de la separación o desprendimiento del flujo, tal como se explicó en el capítulo anterior. La sensibilidad y la experiencia son importantes porque actúan como alarmas que algo no funciona, pero más importante es saber corregir los problemas con los ajustes que se disponen.

A un pupilo laserista, que no tiene la experiencia de muchos expertos en regatas, le enseñé a determinar la profundidad límite para cada viento, y como afinar el bote a partir de la máxima potencia. La receta no es mágica y es necesario practicar mucho en el agua, pero quedamos impresionados con los resultados.

Las embarcaciones siempre se mueven con la presión del viento por barlovento, pero si no consideramos la generación de todas las fuerzas que se pueden obtener incluyendo la sustentación por sotavento, jamás podemos pretender estar entre los mejores o más veloces. En esto voy a parecer majadero, pero es algo que siempre debemos considerar y tener presente mientras navegamos. La sustentación es un importante aporte a la potencia total.

Observen las empopadas de los yates que participan en la Copa América y en la etapa previa, podrán ver que nunca la popa es franca, porque la determinación de la máxima velocidad requiere del aporte de la fuerza de sustentación, y esa se logra incorporando al flujo por ambos costados de todas las velas. Al menos la determinación del V.M.G, (Velocity Made Good) en esas embarcaciones así lo confirma.

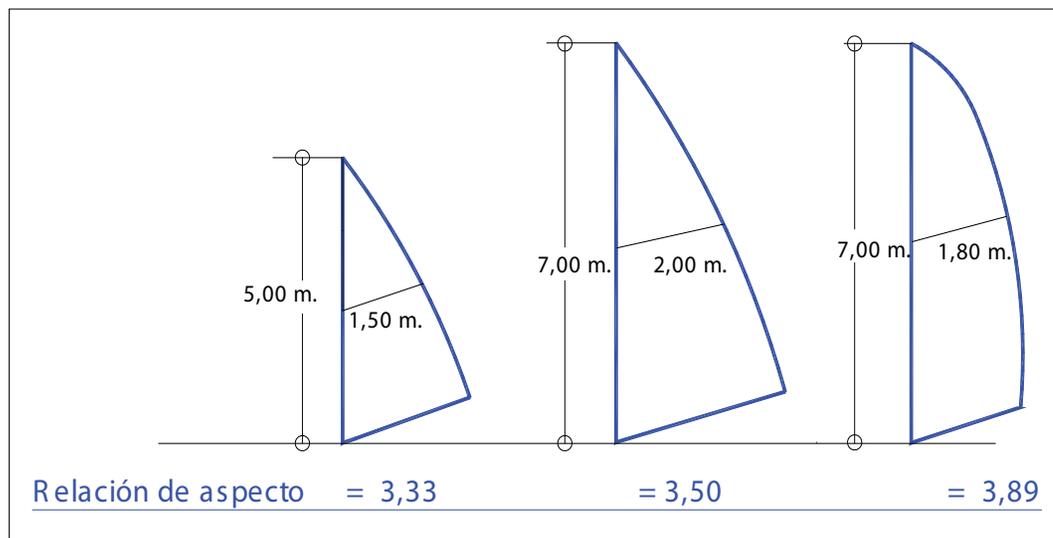
Algunos textos indican que esa técnica es válida sólo para grandes veleros. Creo que se refieren a navíos de muchos mástiles, y es lógico que así sea porque en popa franca las velas del palo mesana taparían a las del palo mayor y estas a las del trinquete. El fenómeno es válido para cualquier embarcación que tiene velas capaces de desviar armónicamente el flujo de aire que recibe, o sea todas.

62.- Características geométricas de las velas.

Al inicio de la segunda parte de estos apuntes definimos los términos relacionados con una vela: aspecto, profundidad, posición de la profundidad respecto a la cuerda. Ahora hablaremos un poco más sobre cada uno de los términos mencionados.

62.1.- Aspecto de una vela o relación de aspecto

Se refiere a la relación del alto de la vela con el ancho, representado como la cuerda media. Mientras más altas mayor relación de aspecto. Las primeras velas eran más anchas que altas, porque las capacidades de soporte de los materiales que se disponían, tanto como mástil como telas, no permitían diseños más audaces. Con los años la tendencia ha sido aumentar la relación de aspecto.



Las velas mostradas en el croquis son parecidas a la mayor de un Pirata, un Lightning y un Catamarán.

Copiando este tema de la aeronavegación, porque de ahí nació este concepto, se llega a determinar que la relación de aspecto es el alto de la vela dividido por la cuerda media (Cm):

$$\text{Aspecto de una vela} = \text{Altura} / \text{Cm.} \times \frac{\text{Alt}}{\text{Alt}} = \frac{\text{Alt al cuadrado}}{\text{Sup. De Vela}}$$

Y si amplificamos por el alto nos queda que el aspecto de una vela es igual al cuadrado del alto, dividido por la superficie de la vela.

Ensayos de laboratorio desarrollados por investigadores, nos informan que una vela de aspecto 6 es más eficiente que una de aspecto 4, de igual superficie.

Tal como veremos más adelante, esto tiene más relación con el arrastre que con otros factores. El arrastre total de una vela, tal como se analizó en la primera parte, está constituido por los **arrastres**

parásitos, más el arrastre de inducción, el cual toma valores en relación inversa al aspecto. Una vela muy alta y de poca cuerda genera menos arrastre parásito por roce pero más por forma. El freno por inducción se manifiesta en los extremos de la vela, independiente de la altura de la vela.

A la luz de lo que hemos visto respecto al freno o arrastre parásito, que se produce con la formación de estelas y turbulencias, y recordando que la **separación** de la capa límite es proporcional a la velocidad del viento, y al espacio recorrido por las partículas de aire por sobre ella, estamos en condiciones de afirmar que una vela con poca cuerda tendrá menos posibilidad de crear estelas o remolinos que una más ancha o con más cuerda, para un determinado viento y de la misma superficie. Podemos ir más allá, afirmando que no siempre una vela de mayor superficie, producto de una mayor cuerda, nos hará obtener mejores rendimientos, salvo cuando recibimos el viento por la popa.

Esta relación de aspecto tiene un límite práctico y otro de cálculo. La superficie, el alto y características de la vela deben tener relación con las dimensiones y distribución del volumen del casco, con la superficie y peso de la orza o quillote.

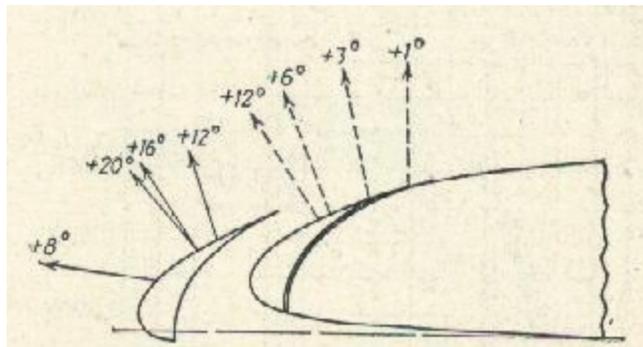
Una vela muy esbelta requerirá de un mástil muy alto, que obligará a mayores refuerzos que significan más peso y efectos de cabeceo. A mayor superficie vélica mayor orza. Una embarcación con gran superficie vélica, navegando por popa, obligará a diseñar cascos con un mayor volumen en la zona de la proa. Pero por suerte para nosotros, esto son problemas que los diseñadores de barcos tienen que solucionar, para que nosotros disfrutemos.

Aparte de esos efectos, no está de más recordar que un mástil de 10 cm. de diámetro a 20 nudos, provoca un arrastre aproximado de 0,70 kilos por metro, y un aumento en “la sombra” o interferencia del viento por sotavento (windage).

Los inteligentes diseños de velas que se fabrican para las más importantes regatas actuales, tratan de evitar el triángulo superior de la vela, porque esa zona es la que más aporta para el cabeceo, y menos aporta a la potencia, porque la vela prácticamente queda escondida detrás del mástil, y es la zona de más difícil control respecto a la incidencia del viento. Agréguese que a medida que crece el mástil, mayor es la escora, el peso y el cabeceo. Cada vela tiene una máxima relación de aspecto para un determinado casco, a partir de la cual deja de ser eficiente. El triángulo superior de una vela triangular es poco útil.

Observando la naturaleza, los peces que están en peceras desarrollan aletas y colas largas, pero un pez que navega a grandes velocidades, como por ejemplo los atunes, tienen aletas y cola muy angostas, digamos de poca cuerda. Del mismo modo las aves que necesitan vuelos lentos como las lechuzas, tienen alas cortas o sea de poca envergadura y de gran cuerda.

Los aviones al momento de aterrizar necesitan disminuir la velocidad y mantener el alzamiento. Para lograrlo aumentan la cuerda con alerones que salen del borde de fuga del ala, y abriendo un pequeño canal cerca del borde de ataque del ala que permite mantener el flujo adherido al extradós, como se indica en la figura siguiente para un perfil Clark Y:



Este descubrimiento se debe principalmente a los trabajos de investigación desarrollados por F. Handley-Page en Inglaterra.

Esto ratifica lo afirmado en estos apuntes, que el flujo por el extradós, a la velocidad que se desplaza un avión, aun cuando aterriza, no se mantiene adherido por lo que el alzamiento se debe a la fuerza de acción directa del viento por el intradós mas el vacío que se provoca por el extradós, que es un fenómeno diferente al que sucede por sotavento de nuestras velas, a bajas velocidades.

Observando el trabajo de los diseñadores de planeadores, veremos que para lograr vuelos más rápidos y estables diseñan alas de gran envergadura y de pequeña cuerda media o angostas. Esto reduce en las alas el arrastre inducido y el riesgo de separación de la capa límite para altas velocidades. El mayor espesor que debe tener un ala de esa envergadura se debe a un problema estructural y no al deseo o necesidad de hacerlas de menor espesor.

La relación de aspecto de las alas de un avión monoplano es del orden de 4,50 a 6,50 y de un planeador es de 13 a 19. La relación de aspecto de nuestras velas es de 3 a 4 con ligeras variaciones a excepción de enormes catamaranes.

Consecuentemente, las orzas de windsurf adecuadas para mucho viento son más angostas y del mismo largo. Permiten más velocidad con menos arrastre, y la posibilidad de evitar excesiva escora. La mayor deriva y abatimiento se compensan con la mayor sustentación que genera la mayor velocidad.

Con mucho viento es preferible usar velas de poca cuerda o más angostas para el mismo alto, o sea de mejor relación de aspecto. Una vela de mayor cuerda o sea más ancha tendrá mayor posibilidad de formar estelas o turbulencias en la zona de “aguas abajo”, por lo que es más sabio e inteligente “no tener esa parte de la vela”.

Últimamente se han visto inteligentes modelos de velas para windsurf, que son los que más avanzan en esta materia. Tienen muy poca variación en el largo de la cuerda y no terminan en punta sino que con un cerrado arco. Para dar esta forma los sables van de mástil a baluma o fullbatten.

Las últimas velas que he visto en los windsurfes son sin punta, o sea redondeadas y de gran radio. Esta zona trata de imitar la parte más extrema de un ala de un cóndor o buitres. Si esta vela se pone en el suelo, las 2/3 partes desde la base tienen la baluma muy rígida y el resto queda muy suelta.

Navegando, esta parte superior de la vela prácticamente no aporta salvo cuando existe bombeo.

La vela que ha empleado el barco suizo Alinghi en las últimas versiones de la Copa América y otros que compiten en esa categoría, muestran la aplicación de similares diseños, pero más reducidos y otros simplemente la han eliminado.

Esta tendencia nos alegra porque vemos que los fabricantes de vela se están esforzando, junto a una mejor tecnología en la fabricación, y al empleo de nuevos materiales, a aplicar al diseño, las técnicas descubiertas en la mecánica de los fluidos hace muchos años.



62.2.- Profundidad

La cuerda es la línea recta que une en forma horizontal el gratil con la baluma. La profundidad es la mayor distancia, medida perpendicularmente, que existe entre la cuerda y la vela.

En la empopada franca, la profundidad es deseable frente a una vela plana, no importa cuanto más gana en superficie una vela plana respecto a la misma con bolsa. Esto es así por coeficientes de arrastre que ya vimos y porque lo hemos experimentado sobre el agua.

Para otros rumbos, el ajuste de la profundidad está limitado por la **profundidad límite**. A partir de esa profundidad se puede aplanar la vela para optar a mayores velocidades y mejor ángulo de ceñida, siempre que las condiciones de la superficie del agua así lo permitan. Marcar en la botavara la profundidad límite para cada viento es una buena idea.

Hemos escuchado siempre, que para una ceñida, una vela embolsada es capaz de generar más potencia y también más arrastre que una vela plana. Eso es correcto, pero incompleto, porque no nos dicen cuan embolsada o cuan plana debe ser. En la parte referida al afinamiento digo que depende de otros factores, como el peso de la embarcación, del tamaño de las olas, de la corriente. En resumen del freno que nos ponen los elementos al desplazamiento. He creído conveniente aportarles un breve resumen de los ensayos que realicé en el Laboratorio de mecánica de fluidos de la Universidad de La Serena, para que saquen sus propias conclusiones:

Comparación de perfiles de diferente profundidad y de distinta posición de dicha profundidad, con viento de 12 nudos, y con incidencia de 0° (con Re. = 40.450)

Perfiles planos:

<u>A/A =</u>	<u>Perfil N°</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Arrastre</u>	<u>Alzamiento.</u>
0,8	6	10,6 a 31%	100	80
0,86	4	10,3 a 44%	105	90
0,87	10	10,7 a 50%	92	80
1,06	2	10,5 a 52,6%	76	72
1,0	8	10,7 a 60,7%	85	85

Los de profundidad 16,30%:

<u>A/A =</u>	<u>Perfil N°</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Arrastre</u>	<u>Alzamiento</u>
0,47	5	16,3 a 30%	135	64
0,80	3	16,3 a 44,6%	100	80
0,85	9	16,4 a 50%	100	85
0,842	7	16,3 a 60%	95	80

Los de profundidad 16,8%

<u>A/A =</u>	<u>Perfil N°</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Arrastre</u>	<u>Alzamiento</u>
0,50	55	16,8 a 35%	130	65
0,61	11	16,8 a 40%	115	70
0,591	33	16,8 a 45%	110	65
0,667	99	16,8 a 50%	105	70
0,735	77	16,8 a 55%	102	75

Para facilitar la comparación, extraeré los perfiles que tienen la profundidad ubicada al 50%

<u>A/A =</u>	<u>Perfil N°</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Arrastre</u>	<u>Alzamiento</u>
0,87	10	10,7 a 50%	92	80
0,85	9	16,4 a 50%	100	85
0,667	99	16,8 a 50%	105	70

Sabemos que los perfiles con más profundidad generan mayor alzamiento y mayor arrastre que uno con menos profundidad. Aprovecharemos esta muestra para explicar la causa por la que en este caso no se cumple.

Estas muestras nos indican que para ese viento la profundidad límite de los perfiles de 16% de profundidad está excedida y que aplanando la vela podemos mantener la potencia y que podemos reducir en forma importante el freno o arrastre. Eso significa mayor velocidad y probablemente un mejor ángulo de ceñida.

Esto es lo que exactamente he tratado de explicarles a los navegantes de J24 sin éxito. Cuando el viento sobrepasa los 15 nudos ellos insisten en mantener una génoa grande. Empleando una génoa

menor, no tan sólo disminuirían el arrastre sino que mejorarían el ángulo de ceñida y disminuirían la escora, mejorando en forma importante el funcionamiento del quillote.

62.3.- Posición de la máxima profundidad

Es la ubicación de la máxima profundidad medida desde el gratil, respecto a la cuerda expresada en porcentaje.

El cuadro anterior que resume los ensayos de laboratorio respecto a esto es enfático y no deja dudas respecto a donde debe estar situada la máxima profundidad.

Sin embargo si se me permite una opinión, para el foque recomiendo la profundidad al 50% y muy plana, porque su función principal es la de desviar el flujo de aire sin turbulencias sobre la mayor y la mayor al 60%.

Este es un tema que lamentablemente es desconocido por la mayor parte de los navegantes, no porque no les interese sino porque existe poca nomenclatura al respecto, y además porque hemos sido bombardeados con las formas aerodinámicas de la aeronavegación, que concentran la mayor profundidad siempre entre el 30 y 40% de la cuerda, evitando que busquemos o pensemos en otras formas.

La ubicación de la profundidad en las velas, que tienen enormes diferencias de forma y de funcionamiento con un ala de avión, determina la cantidad de arrastre, la presión directa del viento por barlovento, la generación de sustentación y la posición del centro de empuje, detalle importante para el equilibrio del bote.

Al respecto sólo tenemos la opción de emplear las velas que existen en el reducido mercado. Algunas fábricas diseñan vela mayor con la bolsa muy cerca del mástil y otras, la mayoría, que ubican la bolsa a una posición entre el 35 y 40%. Las velas de marca MORITZ que trajo mi amigo Rodrigo desde Alemania son las únicas que yo he visto, que tienen la bolsa al 45% de fábrica.



Foto: Foque marca CLOWN fabricado por Franko Schonfeldo de Alemania 2011.

Curiosamente la opinión de los autores que he revisado sólo habla de la ubicación de la máxima profundidad en función de sus experiencias mientras navegan, y otros cuando la vela está sola o cuando es parte de la sociedad foque mayor, pero no establecen causas o explican razones técnicas de la conveniencia de tales posiciones.

Manfred Curry, el más famoso de los antiguos autores, en su libro “Regatas de Yates”, primera edición de 1925, inicia el tema de la forma de la vela, con la siguiente frase: **“Es sorprendente que no se haya reconocido que la vela es y debe ser ni más ni menos que una gran ala de un ave que mueve el ligero casco a través del agua”...**

El análisis de la forma de una vela desarrollada por él, se basa entonces en el estudio y forma del ala de un pájaro, pero no llega a conclusiones aplicables a nuestras velas.

Las alas de algunos pájaros fueron el modelo para los investigadores que pretendían volar, ubicando la máxima profundidad de la parte superior entre el 30 y 40% y en la parte inferior del ala entre el 14 y 20%, con todas las variaciones que las especies voladoras nos pueden mostrar. Eso no significa que en vuelo mantengan dicha profundidad, ni envergadura, porque cuando un pájaro está en vuelo siempre están modificando la forma.

Tal como hemos analizado en el tema de la sustentación, una determinada forma de ala es perfecta para una determinada velocidad de vuelo. Porque cuando quieren descender con rapidez toman otra forma y esa misma ave, cuando quiere aterrizar o posarse, despliega las alas de otra forma. Nuestras velas no poseen tantas alternativas ni cuentan con una enorme cola para complementar una determinada forma de vuelo.

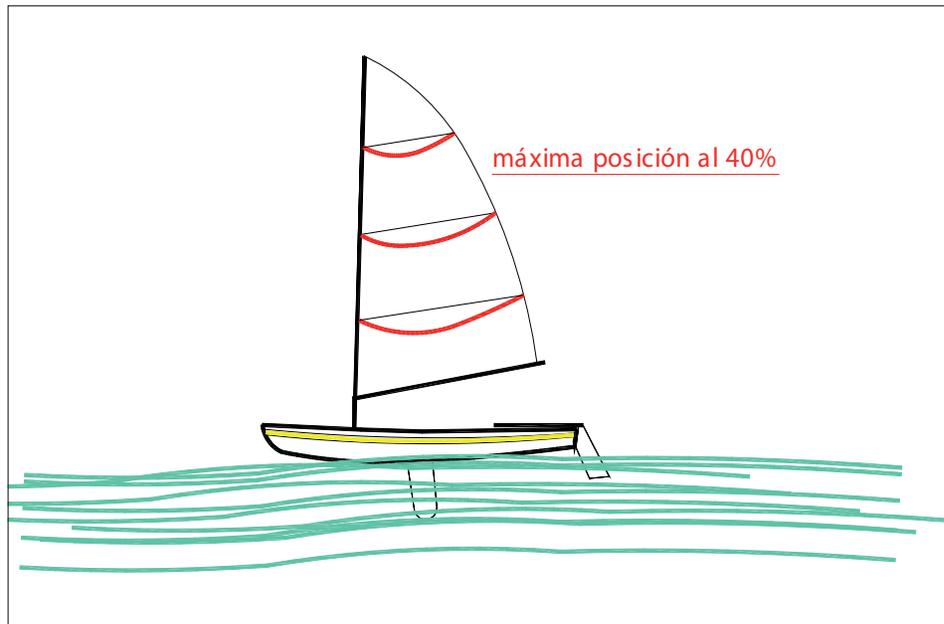
Siguiendo el análisis que hace Manfred Curry, de las alas de pájaro, en que reitero, no llega a conclusión alguna, pasa a ensayos con perfiles de hojalata, rígidos, en un túnel de viento, y siguiendo el método desarrollado por Eiffel, determina al igual que él, la presión en determinadas partes del perfil.

A partir de ese momento la falta de claridad en las conclusiones es evidente. Dice: “Mis propios experimentos han confirmado los resultados de la práctica, es decir, que la posición del bolso, hacia proa o hacia popa, tiene poca influencia, y que en circunstancias ordinarias se obtiene la misma eficacia con el bolso más a popa, cerca de la baluma”. “Personalmente he obtenido los mejores resultados con el bolso al medio”.

Manfred Curry creció junto con el siglo XX, con el máximo desarrollo de la aeronavegación, con muchos experimentos sobre fluidos y perfiles aerodinámicos y discutibles resultados, con escasa comunicación tecnológica respecto la que tenemos hoy. Es un mérito que haya tomado la iniciativa de escribir temas técnicos sobre de velas basado en temas para los aviones, pero que no son iguales a nuestras velas, tal como ya fue analizado latamente en estos apuntes. Nuestra tarea, ahora con más información, es adecuar correctamente algunos temas o títulos que sí son aplicables a las velas.

Wallace Ross, norteamericano autor del extraordinario libro editado en 1975 es más directo para tratar el tema de la posición de la máxima profundidad y establece que para una vela que trabaja sola, como por ejemplo la de un Laser, la posición debe estar entre el 33 y el 40% medida desde el punto de ataque, o mástil, como se ilustra en el croquis siguiente.

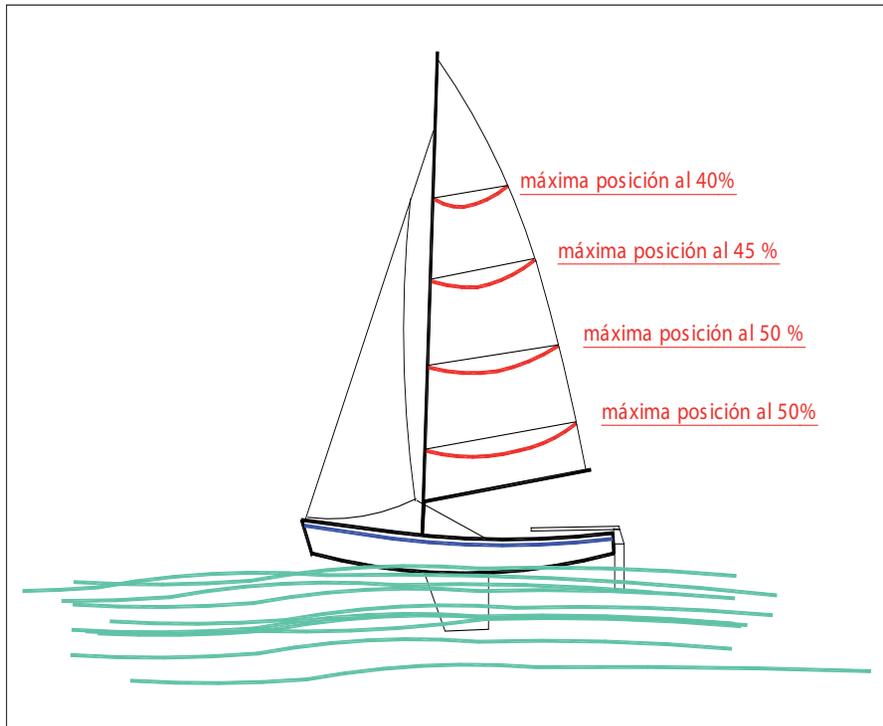
No cabe duda que las fábricas escucharon estas instrucciones que fueron una vez más la tímida repetición de los perfiles aerodinámicos empleados en la aviación.



No hace un detallado análisis ni justifica dicha afirmación, sólo explica que es el resultado de ensayos que establecieron la máxima eficiencia aerodinámica, en esa posición. Obviamente no indica mayores antecedentes involucrados en los ensayos, ni la velocidad del viento, ni de donde obtuvo dichos resultados.

En los ensayos que desarrollé en un túnel de viento a 12 y 20 nudos, que explico en extenso más adelante, para verificar esta afirmación, encontré que las velas con la profundidad en esas posiciones, entre el 33 y el 40% tenían rendimientos muy inferiores a otras con la profundidad más retrasada, en cuanto a la generación de alzamiento y menor cantidad de arrastre. Sin duda que en esto tenemos más tareas para investigar.

Indica además en su libro, que si la vela mayor tiene la sobreposición o solapamiento de un foque o genoa, de altura parcial, la posición de esa profundidad varía en función de la cantidad de sobreposición que establece la genoa o foque según el croquis siguiente:

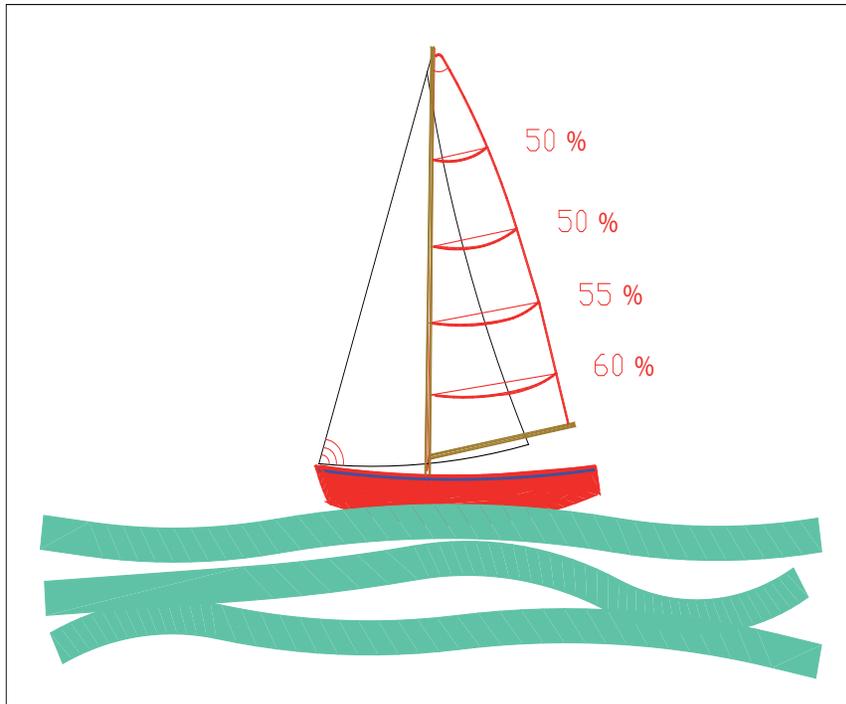


Creo que esto es un buen aporte al tema de la posición de la máxima profundidad de la vela mayor cuando trabajan en sociedad con el foque. Sin embargo su opinión tampoco ha sido escuchada en este tema.

Si se observa detalladamente la forma de la genoa de veleros empleados en Copa América, podemos ver que insisten en las formas aerodinámicas con la máxima profundidad muy adelante y plana en la zona de la sobreposición con la mayor. Debo confesar que no entiendo las razones técnicas que los impulsan a buscar formas que de acuerdo a lo que hemos analizado no es la más conveniente. Quizás si en esto, a falta de expertos en velas, ha prevalecido el criterio de los expertos en aeronavegación, o han empleado criterios que aportan los últimos libros de C.A Marchaj, quien expresa en su libro Sail Performance, que para obtener un buen resultado primero debe detenerse el flujo para después acelerarlo en el canal formado por foque y mayor. ¡Qué tamaño error! Para frenar un flujo de aire con mis velas, debo frenar también mi andar, poner freno a mi bote.

Quizás a los niveles técnicos que manejan los “Copa América”, alguna razón debe existir, supondré que privilegiaron una salida limpia del aire evitando enviar turbulencias hacia el gratil de la mayor, pero sabemos que las turbulencias también se inician por un exceso de recorrido del viento por nuestra vela.

Continuando con las indicaciones de W. Ross, nos cuenta que si se trata de una genoa de mayor sobreposición, y hasta el tope del mástil, la forma más adecuada es la siguiente:



Comenta que **“la mejor prueba para ver si este sistema funciona es navegando y comparándose con botes de similares características, durante un período de tiempo. Y si no funciona debe consultar con un experto en arquitectura naval”....**

Lo más importante de estas instrucciones que vuelca en su libro, es que establece que debe haber una estrecha relación entre la forma geométrica entre foque o génoa con la profundidad de la mayor, para que la función de desviar armónicamente el máximo flujo se cumpla.

Esta descripción de ubicación de la profundidad me gusta porque es consecuente con lo que he expresado anteriormente. La profundidad de la mayor debe estar más allá del 50%.

Otros autores anteriores, la mayoría de los que he consultado, no se refiere al tema en forma clara y las pocas conclusiones son sólo opiniones infundadas que no merecen nuestra atención.

Otros autores más recientes, que se refieren a la posición de la profundidad, lo enfocan a través de la interesante experiencia que desarrolló Eiffel, hace más de 100 años, para otros fines ajenos a la vela, que paso a describir a continuación. Debo aclarar que aplicar dicha experiencia para justificar la ubicación de la profundidad de la vela es un grave error que cometen estos recientes libros tal como lo analizaremos a continuación, porque al igual que en la aeronavegación refieren la incidencia del flujo respecto a la cuerda.

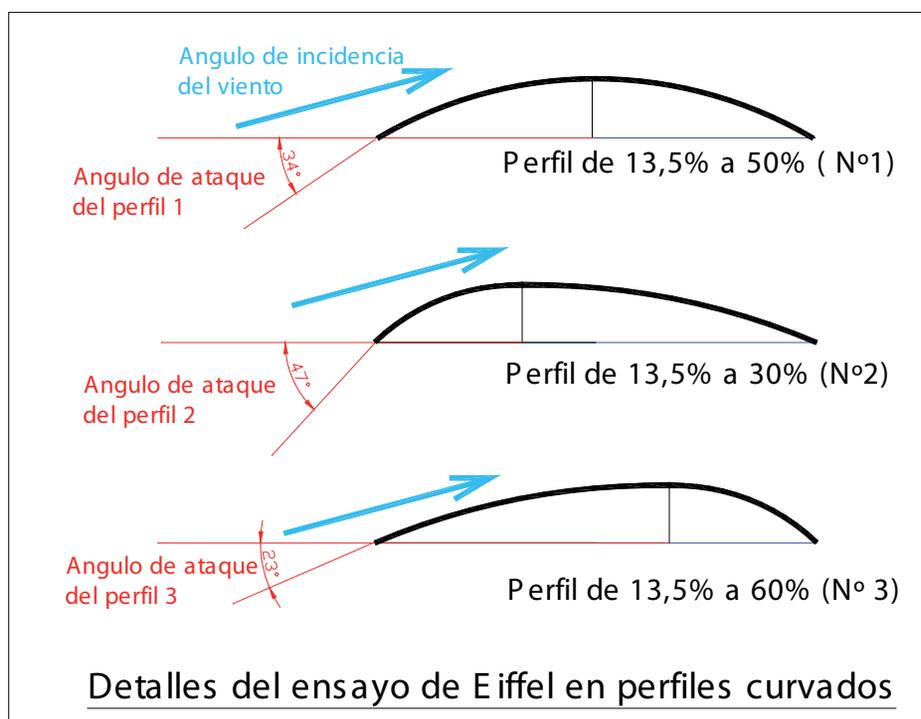
Analizaremos tales ensayos y a continuación explicaremos los errores en que incurren los autores de libros para aplicarlos a las velas.

Eiffel analizó las características aerodinámicas de muchos perfiles, pero para este análisis se consideraron sólo tres perfiles rígidos rectangulares de relación de aspecto 6, con la misma profundidad, pero con distinta posición de máxima profundidad:

El perfil N° 1 es un perfil de 13,5% a 50%.

El perfil N° 2 es un perfil de 13,5% a 30% y

El perfil N° 3 es un perfil de 13,5% a 60%, como se indica en el croquis.



A continuación expuso cada perfil a **distintos ángulos de incidencia de viento respecto a la cuerda, (de la misma forma en que se hacen los ensayos para alas de aviones)** y anotó los valores de alzamiento y arrastre hasta que los perfiles entraron en pérdida de sustentación.

El perfil **N° 1** entró en pérdida de sustentación cuando la incidencia del viento era aproximadamente **14 grados**.

El perfil **N° 2** entró en pérdida de sustentación cuando la incidencia del viento era aproximadamente **16 grados**.

El perfil **N° 1** entró en pérdida de sustentación cuando la incidencia del viento era aproximadamente **13 grados**.

Es entendible que el inicio de la pérdida de sustentación tenga diferencias porque los ángulos de ataque de los perfiles son diferentes, y los más aguzados o sea los que tienen menor ángulo de ataque entran en pérdida antes que los de mayores ángulos de ataque, o de punta más redondeada. (Una placa plana entra en pérdida de sustentación a valores cercanos a los 10°).

Lamentablemente no tenemos información de la velocidad del viento en que fueron ensayados estos perfiles, sin embargo considerando los resultados de otros experimentos, debe tratarse de una velocidad superior a 60 k/hora, primero porque Eiffel buscaba perfiles para aviones que volaran a mayor velocidad, y segundo, porque a velocidades menores el inicio de la pérdida de sustentación se inicia con ángulos de incidencia del flujo mayores a los descritos.

El alzamiento y arrastre logrado por los perfiles de Eiffel son los siguientes:

Perfil	al	Alzamiento	Arrastre	Alzamiento/Arrastre
Nº 1	50%	0,079	<u>0,0030</u>	26,333
Nº 2	30%	0,078	0,0032	24,375
Nº 3	60%	<u>0,081</u>	0,0035	23,143

Nota: La escala del arrastre no aparece y la he supuesto basándome en las medidas horizontales del gráfico.

(Estos datos los he obtenido del gráfico de curvas polares para arcos publicado por Eiffel).

Al observar este experimento, algunos autores de libros de vela se tentaron en sacar conclusiones “aplicables” a nuestras velas. Y dijeron que: si privilegiamos el alzamiento como característica de los perfiles ensayados, el mejor es el **perfil Nº 3, el de profundidad al 60%**. Y si el arrastre es lo más importante, el perfil escogido es el **perfil Nº 1, al 50%**. Este análisis nos conduce a escoger el perfil Nº 1 como el más conveniente para nuestras velas por la mejor relación entre alzamiento y arrastre. Argumentan además que es preferible tener una vela con una profundidad al 40% porque “es sabido que con el aumento del viento la bolsa de las velas, normalmente elásticas, se mueve hacia atrás, con lo que logramos el objetivo de acercarnos a la forma al 50% que es la ideal”.

Este ensayo lo realizó Eiffel para determinar las características de estos perfiles pensando en la aeronavegación. Sabemos que todos los perfiles empleados en los aviones deben tener un ángulo de incidencia superior a cero y que el arrastre enorme que este ángulo provoca lo solucionan con más motor.

En este tipo de ensayos se somete al perfil a distintos ángulos de incidencia del flujo y se anotan para cada ángulo el alzamiento y arrastre. Esta relación, Alzamiento/Arrastre varía con la incidencia. Al seguir aumentando el ángulo de incidencia se llega a un punto en que el alzamiento no aumenta más pero sí el arrastre. En este punto de inflexión se inicia la pérdida de sustentación o stall, en inglés. Para los pilotos es necesario conocer el punto de pérdida de sustentación. Las conclusiones hechas por la mayoría de los autores para saber que vela funciona mejor o cual es mejor para la navegación la deducen según el punto en que los distintos perfiles entran en pérdida de sustentación... ¡grave error!

Por lo tanto emplear este análisis para explicar la posición de la máxima profundidad, y obtener el funcionamiento óptimo de una vela, es un grueso error. Pensar que nuestras velas navegan con **ángulos de incidencia del 15 grados** o cercano en donde se habrían logrado estos resultados es otro grueso error.

En nuestras velas **la incidencia del flujo es única y tiene relación directa con el ángulo de ataque de los perfiles ensayados. Nosotros navegamos con incidencia de 0° y mas/menos 2 grados.**

Sólo para la historia dejaremos en claro que no pueden compararse perfiles que tienen distinto ángulo de incidencia del flujo y sacar conclusiones aplicables a nuestras velas:

Al comienzo de este análisis indiqué los ángulos de ataque de estos perfiles ensayados:

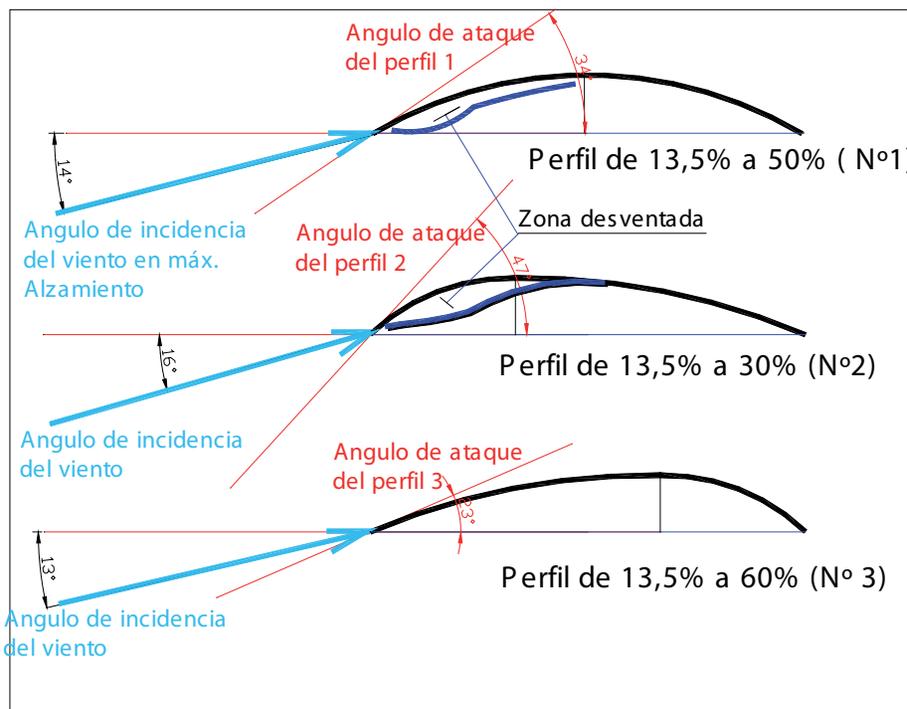
El perfil Nº 1 tiene un ángulo de ataque de 34°

El perfil Nº 2 , uno de 47°

El perfil Nº 2 , uno de 23°

Con los ángulos de incidencia que se efectuaron los ensayos, nuestras velas, flexibles y al aire libre, habrían colapsado en la zona del gratil, de la misma forma que sucede cuando el foque está con

exceso de cazado y desvía el flujo sobre la primera parte de la mayor, o cuando soltamos la escota del foque, tal como se ilustra en el croquis siguiente.



De acuerdo a esto, y para entrar en comparaciones que realmente nos sirvan, debemos ensayar los perfiles con incidencias similares a las que empleamos cuando navegamos, o sea incidencias de acuerdo al ángulo de ataque de los tres perfiles.

El ángulo de incidencia respecto a la cuerda de estos perfiles queda como sigue:

- + 34° para el perfil N° 1,
- + 47° para el perfil N° 2 y
- + 23° para el N°3.

El error en que caen los distinguidos autores es evidente. Eiffel no tiene la culpa.

Para completar este cuento y obtener una conclusión que nos sirva, realicé estos mismos ensayos, pero con incidencias de viento de acuerdo con el ángulo de ataque de cada perfil, y no considerando la cuerda para nada, con dos velocidades de viento, cuyos informes lo entrego en el capítulo correspondiente. Puedo adelantar que el perfil de una vela más conveniente observando la relación alzamiento con el arrastre, es el que tiene la máxima profundidad al 60% para velocidades entre los 12 y 20 nudos de viento y con una justa incidencia de viento. La diferencia es enorme.

Algunos autores contemporáneos, expertos en aeronavegación y dedicados a dar cátedra en velas de navegación siguen enfocando todo empleando las diferencias de presión que según ellos se produce entre los costados de un vela con justa incidencia. Estos autores reconocen que un perfil de vela con la profundidad retrasada genera mayor alzamiento con menos arrastre pero no la recomiendan por otras razones. La más importante es que va en contra de todo lo que se ha hecho en aeronavegación hasta este momento...

Podemos decir que estos perfiles pueden tener un menor ángulo de ataque que otros con la profundidad más adelante, pero el borde de fuga, el leech, no permite una posición muy cercana a la cruzija

de la embarcación. Eso es cierto, pero creo que depende de la embarcación, y de cuán en contra del viento deseamos navegar. Una ceñida muy apretada no siempre le gana a una ceñida más abierta con un mejor desempeño de la obra viva de la embarcación.

Cuando actúa foque y mayor, me atrevo a decir que esta aseveración es sólo para la vela mayor, y para el foque en esas condiciones, una forma curvada al 50%. Esto porque la función del foque, entre otras, es enviar un flujo ordenado a la mayor, un flujo laminar en la mayor parte de su altura.

Personalmente tuve la opción a emplear en una regata con viento de 10 nudos, con mar plano, una mayor con esta profundidad al 60%, (modifiqué personalmente una vela vieja y las terminaciones no fueron buenas. La llamé modelo Frankenstein por su similitud con aquel personaje de cuentos), y la diferencia de velocidad con otros botes fue impresionante.

Las velas con esa forma hoy no se fabrican para botes ligeros, pero se puede obtener una cortando una vela vieja y estirando el exceso de paño pegado al gratil, pero considerando el tipo de mástil empleado, o convenciendo a un fabricante de velas a que se arriesgue, como yo lo hice.



Es probable que no se haya logrado exactamente la forma que yo especificué pero es una buena aproximación y tiene una muy buena velocidad en ceñida.

Normalmente los Laser navegan con velas cuya profundidad de fábrica está cercana al 40%. Sin embargo en ceñida y con todos los ajustes llevan esta profundidad más a popa, y creo que, al menos en nuestro medio, nunca lo han sospechado, porque para deformar el mástil siempre cazan con exceso de tensión el boomvag y la consecuencia es una forma con la bolsa atrás. No es lo más conveniente, pero...

En una reciente regata nacional de LASER, ganó un tripulante con una vela que se veía muy fea comparadas con otras que estaban estiraditas. Tenía muchas arrugas pegadas al mástil. Esas arrugas podían eliminarse tensando el cunningham, sin embargo este tripulante no lo empleó. Esa vela quedó entonces con un ángulo de ataque muy afilado que le permitió optar a una ceñida apretada y con la bolsa más a popa que los otros botes similares.

Nadie supo explicar que la causa se debía a la mayor potencia con menos arrastre, que llamamos técnicamente como relación Alzamiento-Arrastre o Lift/Drag, que una vela con esa forma tiene y que bien empleada mejora levemente la potencia y disminuye notablemente el arrastre.

62.4.- Angulo de cazado.

El ángulo de cazado de una vela es el que forma la cuerda en el punto más bajo de la vela con la crujía.

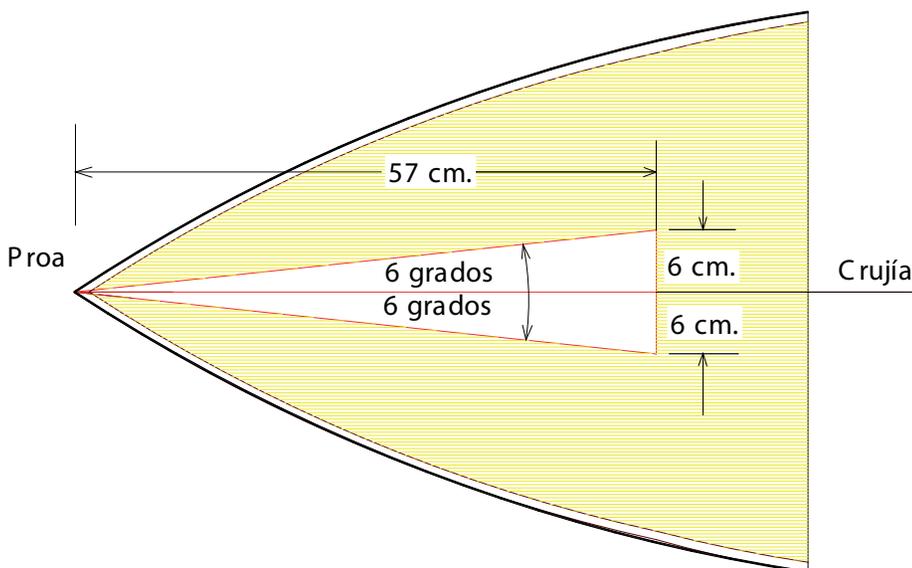
El ángulo de cazado de la vela mayor es el que forma la botavara con la crujía.

Una vela, génoa o mayor, por su condición de ser flexible, y por la diferencia de viento aparente en toda su altura, tiene distintos ángulos de cazado, sin embargo cuando hablamos de ángulo de cazado de una vela nos referimos a la definición entregada al inicio.

En embarcaciones normales que emplean foque o génoa que no sobrepasan los obenques del mástil pueden lograr cerrados ángulos de cazado. Los expertos nos dicen que este ángulo para esas velas no debe ser inferior a 6 grados. Nosotros sabemos que esa afirmación es sólo una opinión, porque depende de la curvatura y forma del foque.

Las grandes embarcaciones que emplean génoas que sobrepasan el mástil tienen la limitante de las crucetas del mástil, que no pueden hacerse más cortas por un problema estructural. A raíz de esto, la génoa 2 que tiene solapamiento cercano al 130% siempre tiene problemas para lograr ángulos de cazado menor a los 12 grados, porque a menores ángulos la parte posterior de la vela tiende a generar freno.

Si usted desea saber en la práctica cuanto son seis grados, entonces haga en cubierta el siguiente croquis:



Cada centímetro corresponde a un grado cuando la distancia es de 57 centímetros medidos desde el punto en que se fija el puño de amura del foque.

He visto varios textos e instructivos de veleros de clase que aconsejan que cuando se ciñe apretadamente el ángulo de cazado de la mayor (que forma con la crujía) puede ser cero, y excepcionalmente sobrepasar la línea de crujía. Desde nuestro punto de vista, existen razones que tienen que ver con el arrastre y el abatimiento, que aconsejan no llevar la botavara al centro o coincidente con la crujía o más allá de ese punto. Una excepción a lo dicho podría ser una vela con exceso de twist con dudoso rendimiento.

En una regata de yates oceánicos que se desarrolló en Coquimbo, Chile, tuve la posibilidad de navegar en un yate cuyo capitán, no aceptaba sugerencias al respecto.

Era de los que creían que era necesario crear diferencias de presión entre génoa y mayor. Cazaba la mayor en la crujía del bote y la aplanaba totalmente. Le pregunté por las razones de ese afinamiento y me contestó: “che, que “así se navega en ceñida”... El mar estaba con grandes olas y el viento no superaba los 12 nudos. Llegamos últimos.

La función de las velas es captar la energía del viento para transformarla en movimiento en el sentido de la proa. Si las velas son cazadas en extremo la tripulación puede tener la sensación que avanza, pero ese avance será con un enorme abatimiento y freno por las turbulencias y vórtices que se producen en cada elemento que se encuentra en el agua y en el aire. La ola y el cabeceo aumentan ese efecto.

Es preferible siempre privilegiar la velocidad y aprovechar cualquier situación para ganar altura. Los veleros también vuelan como los planeadores, pero esa preciosa sensación que se produce cuando el trimado es perfecto, dura escasos segundos y ocurre cuando una racha nos desventa y por inercia el bote continúa con el movimiento, pero vale la pena sentirlo.

En **la clase pirata** el tema del ángulo de cazado del foque ha sido tratado, y consideraron que el carro pasador de la escota del foque debe quedar fuera de la bañera, y que ponerla dentro para tener opción a un menor ángulo de cazado del foque está contra la regla.

En mi opinión, la posición debe ser libre, para que los que participan en regatas investiguen diferentes posiciones y entiendan la verdadera acción del foque en sociedad con la mayor. Si autorizan la libertad de ubicación del carro del foque es posible que pocos insistan en esa posición.

Si ponemos reglas, obedecemos a mitos y a recetas, dejamos de pensar, de investigar, y aprendemos sólo a obedecer. Las máquinas no piensan ni tienen criterio, sólo obedecen. Nosotros no somos máquinas.

En nuestro club había un pirata de madera nuevo y con todo lo necesario para ser el mejor de la flota. Su capitán, ducho en regatas, obsesionado por exigir al máximo al “Aqua” en la ceñida, se olvidaba del abatimiento que es la pesadilla de los botes de orzas planas. Lograba mover al bote casi contra el viento, pero el resultado nunca era el mejor.

Los Piratas, Lightning y otros botes de orza plana o quillotes de gran cuerda, deben considerar y observar atentamente lo que sucede bajo el agua cuando el abatimiento es excesivo. La orza se comporta como un ala de avión en el agua. El mayor abatimiento provoca un aumento en la proyección de la orza plana, y una enorme turbulencia por sotavento y fácilmente pueden dejar de ser eficientes. Entran en stall.

El trimado de cualquier bote debe ser tal que permita que la energía captada sea útil para el movimiento o desplazamiento que pretendemos, más que en abatimiento y escora.

Necesitamos que la fuerza total que generan las velas nos ayude a avanzar más en el sentido de la proa que a al abatimiento y a la escora, por lo que la posición de la botavara o de la vela respecto a la crujía de la embarcación es fundamental. Esa posición debe ser estudiada para cada condición de viento y puedo asegurar que una botavara ubicada en la crujía avanza más para el costado que para adelante.

A veces pensamos que la escora se debe al exceso de viento. Cuando es mucho, es cierto, pero el grado de escora a vientos normales debe ser el mejor indicador o la alarma de velas mal trimadas.



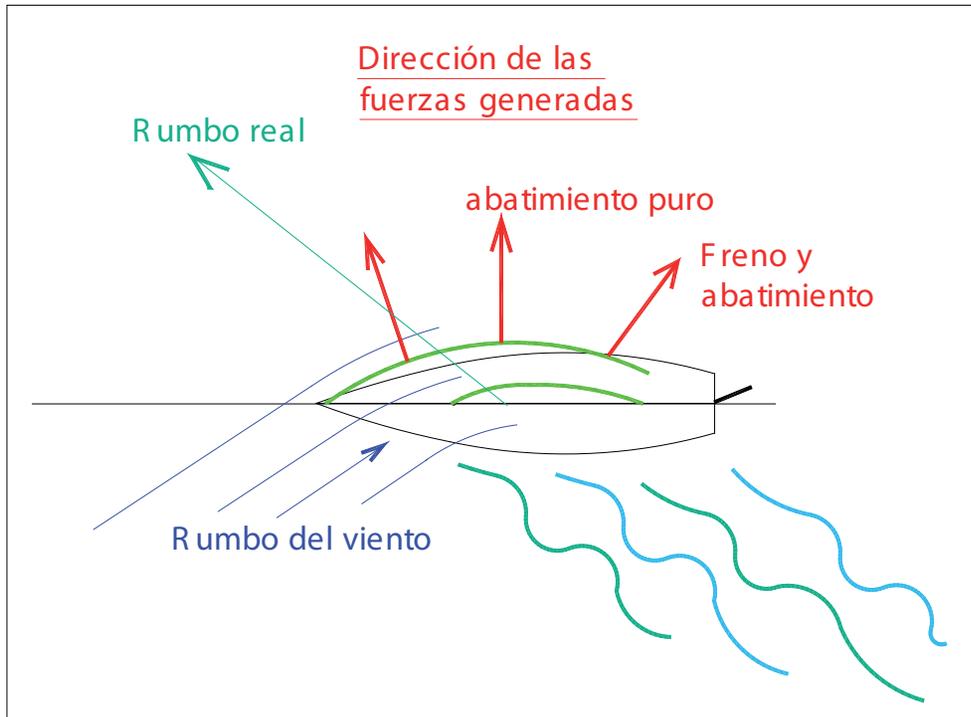
Observando la fotografía anterior, se puede apreciar la innecesaria escora que lleva el Melges de la foto. Puede apreciarse además el abatimiento que acusa la estela en el agua. Lleva absolutamente cerradas las balumas de ambas velas, y excesivamente cazadas hacia el eje o crujía del bote. Por barlovento el viento provoca, en el borde de escape de la vela, un empuje neto en contra del rumbo de la embarcación. Y por sotavento, si es que ha logrado generar fuerza de sustentación, es también en el sentido de la popa.

Observe además el timón accionado para contrarrestar la tendencia a orzar. Mirando el rumbo y asociándolo con el ángulo de la pala del timón, esa pala debe tener varias veces el espesor en la proyección del rumbo real. Nótese además las turbulencias que esa posición genera. Esa pala de timón entró en stall o pérdida de sustentación y el freno que genera es enorme.

La foto nos muestra que el ángulo del borde de fuga de la mayor coincide con el abatido rumbo de la embarcación.

Si lo que deseamos es la mayor eficiencia en nuestra navegación, la profundidad de la vela, la posición de la máxima profundidad, el ángulo de escora, el ángulo de ataque, la salida del viento o borde de fuga, el ancho del canal entre foque y mayor y la posición de la botavara respecto a la crujía del bote no es cosa menor, frente a las distintas condiciones de mar y viento. Cada una de estas características es importante, y si logramos dar con la forma perfecta, pero cazamos en exceso, todo el esfuerzo estará desperdiciado.

Es un error muy común en nuestros navegantes apretar al máximo la escota pensando, como el ejemplo recién analizado, que mientras más esfuerzo hagan, más rápido andarán. En parte tienen razón, pues es la mejor forma de avanzar, pero como caballo corralero, es decir más hacia el costado que hacia delante. El croquis siguiente grafica lo que sucede en la fotografía anterior:



No nos detuvimos a analizar el estrangulamiento del canal, que en la foto anterior está completamente cerrado. Este tema se desarrolla en el capítulo destinado a la sociedad foque-mayor.

Observe la proyección de la pala del timón respecto al rumbo. Esa pala ya dejó de funcionar y tiene un espesor varias veces superior a su diseño.

Es común observar exceso de cazado cuando toda la flota está partiendo y el espacio entre bote y bote no permite caer para tomar velocidad. Es una buena técnica de partida dejar espacio a sotavento, para poder tomar velocidad y después mejorar el ángulo de ceñida.



Regata de Clase Pirata en el lago Ballaton, Hungría.

Se puede apreciar que los dos primeros botes avanzan más para el costado que para adelante, obligados por otro bote que apenas se ve, que los está orzando. Aprovecho la foto para mostrar que el que quedó atrás, quedó sin viento o con viento sucio y en medio de un agua muy agitada. Ese bote tiene asegurado en su casco una capa límite desprendida, con mucha turbulencia y excelente freno. Si resuelve con prontitud su problema, y sale de esa zona, habrá dado a los que partieron bien, una ventaja a lo menos equivalente a 6 esloras.

62.5.- Angulo de cazado del foque

El **ángulo de cazado óptimo** se fija en función del **ángulo de ataque de la vela y del rumbo pretendido**. La posición de la vela bien cazada no admite más de un par de grados hacia ambos costados medidos desde el eje, o línea tangente a la curvatura de la vela en el gratil. Con mayores variaciones a las indicadas, la vela juega entre la pérdida de sustentación (stalling) y el desvente (luffing) de la zona primera de la vela o gratil.

Para fijar la posición del ángulo de cazado del foque debe considerarse la línea del borde de fuga, o sea la desviación del flujo de aire que incidirá sobre la mayor. Este deberá permitir un ángulo de cazado de la botavara cercano a la crujía para vientos medios y más abierta para vientos más fuertes y débiles. Si ajustamos al máximo el ángulo del foque, puede ocurrir que el cazado de la botavara de la mayor sobrepase la línea de la crujía, lo que seguramente generará fuerzas beneficiosas para el abatimiento, la escora y un excelente freno.

En la organización de las velas siempre debe centrarse la observación en la entrada del flujo por el gratil del foque y en el borde de fuga de la mayor como si se tratara de una sola vela.

Un ángulo de cazado óptimo es aquel que permite que la máxima potencia desarrollada por todas las velas se emplee en lograr la máxima velocidad en el sentido que deseamos navegar y en un mínimo de escora, abatimiento y arrastre.

Pero ¿Cómo saber cuál es el **ángulo de cazado justo, para un determinado rumbo** si las pequeñas e importantes pérdidas no se ven?

Cuando la vela se ubica con un ángulo mayor que **la incidencia justa**, se nota inmediatamente en el “desvente” del gratil por sotavento, pero si se caza con un ángulo de cazado inferior, los efectos visibles son menores, ya que incluso los catavientos de barlovento no mostrarán grandes señales, y los de sotavento se ven poco a través del paño. En ambos casos, cuando se detecta, el mal ya se ha producido, se ha perdido sustentación y por lo tanto velocidad.

Frente al mal inevitable, debemos escoger el menor, o sea mantener la sustentación aun a costa de perder algo de fuerza por acción directa del viento por barlovento, o sea que los catavientos de barlovento estén con ligera tendencia a apuntar hacia arriba. Eso es algo que podemos ver.

Los navegantes o timoneles expertos, frente a vientos oscilantes, buscan el punto de cazado justo llevando la escota en la mano, cuando la fuerza lo permite y moviéndola lentamente, lascando o tesando, para mantenerse en el eje justo del ángulo de cazado, en ese pequeño tramo entre el desvente y el exceso de cazado. Otros, la mayoría, utilizan el timón provocando insignificantes cambios de rumbo, con el mismo fin.

En todo caso cuando el mal comienza a manifestarse, y el timonel no reacciona, es de gran ayuda el grito oportuno del proel que ve como el cataviento de la baluma de su vela pierde el rumbo.

Existe un proverbio inglés cuya exacta traducción les dejo como tarea que dice: **“The moment you no longer see the suggestion of a luff, you have no way of knowing how over trimmed you are, or how far off might be sailing”.**

Cuando estamos a cargo del timón, siempre estamos mirando los catavientos del foque o génoa y a menudo descuidamos el ángulo de cazado de la mayor. El proverbio creo que está dirigido con mayor énfasis a la mayor. Este tema lo ampliaremos más adelante cuando tratemos la sociedad foque mayor.

La falta de cazado en la mayor se ve por el desventé de la primera parte de la mayor pegada al mástil, pero un exceso de cazado es más difícil detectarlo. Sin embargo a veces el desvente de la mayor se debe a un exceso de cazado del foque, que lanza el flujo directamente sobre esa primera parte pegada al mástil. Es en ese momento cuando empezamos a quedar más atrás que otros competidores. Si eso le ocurre, aplane el foque. Si no hay solución busque un foque con menos profundidad.

Un atento y experimentado capitán debe ser capaz de detectar la disminución de la velocidad, o la pérdida de la sustentación en sus sentaderas o **sexto sentido**, o por los catavientos de sotavento que seguramente estarán orientados hacia la proa con una gran turbulencia. Pero como repito, si eso sucede el mal ya se ha producido y debe corregirse, pero ya se han perdido valiosos metros.

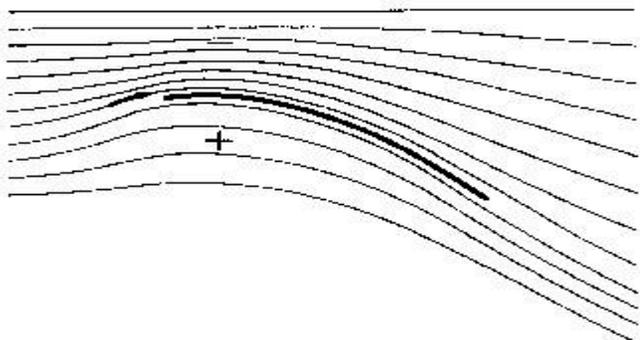
Es muy distinto, pero muy diferente, sentarse en un bote a llevar un bote en las sentaderas. Un buen capitán lleva su bote como una parte más de su cuerpo, como un jinete saltando obstáculos, como un jeepista en las dunas.

En un avión cuando la incidencia del viento sobrepasa un ángulo superior a 15 grados, pierde alzamiento y comienza a caer como piedra. Pero en nuestro caso, con una distracción del timonel, aparte de perder velocidad y aumentar el abatimiento no se aprecia notablemente, por lo que este error en el gobierno de una embarcación es más común que lo que uno cree. Pero no se aflija, cuando se navega con mar gruesa o metido en una posición comprometida, este error suelen cometerlo incluso los experimentados, y el resultado se ve cuando ya es tarde o sea en la meta.

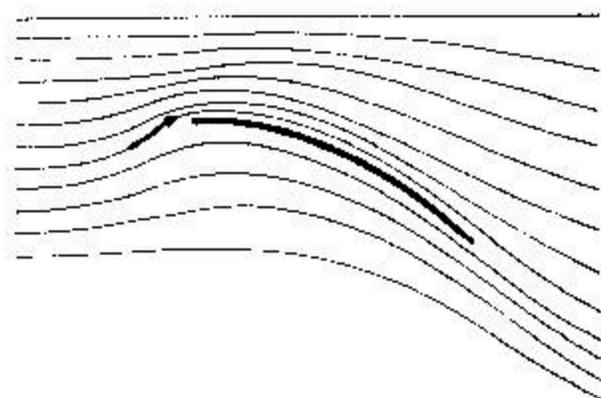
62.6.- Mitos errados aplicados a este tema

Algunos textos de reciente publicación, insisten aplicar al comportamiento del aire, cuando acomete sobre nuestras velas, fórmulas sólo válidas para perfiles bidimensionales, con volumen, como un ala de avión en el interior de un túnel de viento. Quizás sea la tendencia a copiar lo que aparece en valiosos libros más antiguos, como el que ahora mostramos:

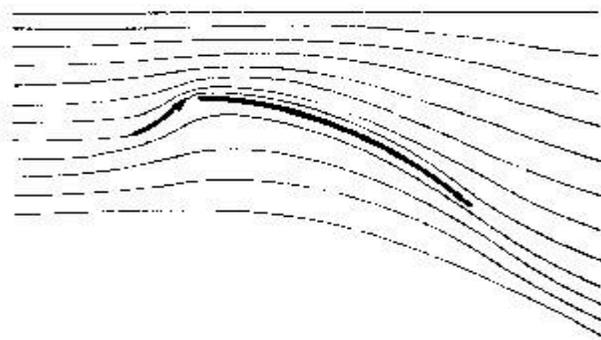
1. The flow begins.



2. The flow builds in strength.



3. The flow reaches its maximum.



De esa forma explican que cuando el flujo se acerca a la zona de ataque de una vela, (imagen 1) gran parte de las “líneas” de viento que llevaban una dirección para acceder por barlovento, (imagen 2 y 3) al llegar cerca del mástil, o del gratil de la vela, se desvían hacia sotavento, por ser esta una zona de menor presión. “Como este fenómeno no es visible, una vela puesta en la incidencia justa, en el eje, debe disminuir su ángulo de cazado”, según el croquis.

Esto que puede ser válido para un ala de avión, expuesto a un flujo con gran ángulo de incidencia a gran velocidad o en el interior de un túnel de viento de poca sección, no es válido para una vela expuesta al viento en un ambiente libre, como cuando navegamos.

Imágenes como la mostrada, que indican rumbos absolutamente erróneos de las líneas de viento que inciden en un perfil al aire libre, inducen a quien las ha leído o los ha visto en todos los libros sobre velas, antiguos y nuevos, a buscar velas y especialmente focos con la mayor profundidad muy adelante siguiendo las líneas de viento como las mostradas en el croquis anterior.

El viento cuando acomete sobre un foco no se desvía como se muestra en el croquis a menos que se ahogue el canal, estrechándolo de tal forma que el flujo se ve obligado a buscar otros rumbos.

Estrechar el canal equivale a detener el flujo, es lo mismo que obligar a todo el flujo que pase por un embudo. Eso en un ambiente libre nunca ocurre. Frente a un embudo sólo una pequeña parte del flujo sale por la parte más angosta o de menor sección, el resto busca otras alternativas de ruta.

62.5.- Angulo de ataque en el borde de una vela.

Es el ángulo que forma la tangente a la curvatura de la vela en el gratil, con la cuerda. Se compara al ángulo del filo de un cuchillo; mientras más agudo, mejor corta, y podemos optar a navegaciones con mejores ángulos de ceñida, pero más inestables en cuanto a generación de fuerza.

Cuando se modifica horizontalmente la botavara, se modifica el **ángulo de cazado** de la vela respecto a la crujía, pero **no se está modificando el ángulo de ataque del borde de la vela**, el cual depende de otros ajustes.

El ángulo de cazado debe ajustarse de forma que el **ángulo del borde de ataque** trabaje en su punto justo, permitiendo que el viento acceda tangente a la curva de la vela en el gratil, en todo el alto de la vela. Eso se llama trimado de la vela y el encargado de esa operación se le llama **trimer**.

Con un “afilado” **ángulo de ataque** se puede optar a un menor ángulo de cazado, y por lo tanto a una ceñida más cerrada. Pero un ángulo muy cerrado, con un afilado ángulo de ataque proporciona una navegación crítica, porque el viento normalmente es inestable y el agua en que navegamos nunca es plana lo que provoca movimientos en el mástil. Esto hace variar el viento aparente y la suma de efectos hace difícil mantener una justa incidencia del viento en el eje, moviéndose este entre luffing y stalling, desvente del gratil o exceso de cazado.

Dicho en otras palabras, si controláramos durante algunos minutos el trabajo efectivo de una vela con pequeño ángulo de ataque, puede ser que con un experto timonel trabaje durante un 75 % del tiempo, y el resto todo es pérdida en velocidad y abatimiento. **“En nuestro bote, lo que no es bueno es doblemente malo”** Bien vale la pena entonces optar por otro ángulo menos cerrado que permita mantener trabajando a nuestra vela al 100%.

Con un timonel menos atento o inexperto el tiempo ocioso de la vela aumenta considerablemente. Una vela trabaja o frena, no existen estados intermedios.

Las velas planas (mayor) con máxima profundidad entre 30 y 35% que vemos en el mercado, que según los fabricantes son para vientos medios a superiores, tienen poca posibilidad de lograr ángulos de ataque inferiores a los diseñados, a menos que se disponga de un mástil muy flexible.

En el caso del foco, o génoas, las fábricas las velas tienen una forma definida y por lo tanto un ángulo de ataque para la entrada del viento que se logra con el estay completamente recto. No teniendo el foco un mástil que permita deformarlo para estirar el exceso de paño, este ángulo no puede ser disminuido. Sólo queda la posibilidad de aumentar dicho ángulo.

Este ángulo de ataque de fábrica, por lo tanto, nos limita la pretensión de obtener un mejor ángulo de ceñida con las velas trabajando eficientemente. Si se pretende ceñir a un ángulo más cerrado, el flujo acometerá por sotavento, desventando la zona del gratil. Si el timonel caza más su vela para mejorar la incidencia, probablemente se formarán turbulencias por sotavento perdiendo a nuestra mejor aliada, la fuerza de sustentación.

La única manera de lograr el ángulo de fábrica es con el estay de proa recto sin comba (sag)

Un ángulo de ataque muy grande se da en formas de vela en que la profundidad de fábrica es cercana al 30%. Si conocemos de que se trata la fuerza de sustentación, jamás trataremos de tener un la máxima profundidad muy adelante ni bruscos cambios del perfil por el riesgo de una temprana separación. Un foque con esa forma sólo sirve para sobrevivir a un fuerte viento, para evitar más potencia.

Una vela como la descrita es común en el mercado y es la respuesta a las formas aerodinámicas empleadas en la aeronavegación, que suponen que genera más potencia pero sin pensar que lo que necesitamos, es la mayor potencia con menos arrastre.

Sin embargo existen fábricas de velas que han pensado en este tema, cuya solución existe desde antes de que se escribieran libros sobre técnicas de navegación.

El ángulo de ataque de un foque depende del rebaje que el fabricante haga con la tela del gratil y del “sag”. Un exceso de sag aumenta el ángulo de ataque en gran parte de ella. Un rebaje adecuado es del orden del 1% del largo del gratil o sea si el largo es de tres metros el rebaje debe ser de 3 cm.

Nuestro amigo Frank, fabricante de las velas Clown, campeonas de Europa de la clase Pirata, nos mostraba la forma de medir este “rebaje” que permite mantener un ángulo de ataque en todo el alto sin tener que reventar la driza del foque.

Lo primero es emplear una superficie limpia. Estirar el foque en esa superficie y enrollar partiendo del punto de escota de modo que el rollo quede paralelo al gratil. Para determinar cuánto rebaje tiene o alunamiento, se utiliza una cuerda delgada que una el punto de driza con el de anclaje, tal como se puede apreciar en la foto.

Mi foque Frankenstein tenía dos centímetros más que la vela CLOWN, porque yo la diseñé para mi Pirata PRIWALL que es de madera y no resiste demasiada tensión de obenques ni estay como los Piratas alemanes de fibra.



Franco en una clínica sobre formas de vela en Villarrica, Chile.

62.6.- Angulo de ataque en todo el alto de una vela.

Normalmente este tema es poco tratado o analizado y es de enorme importancia para el rumbo y para que toda la superficie de la vela aporte a la velocidad.

Es necesario diferenciar entre la situación del foque que recibe viento limpio y de la mayor que tiene el problema del mástil y eventualmente aire perturbado por mal trabajo del foque. La función del foque en la sociedad foque mayor es enviar un flujo limpio sobre la mayor, en donde se encuentra centrada la mayor potencia.

En el caso de existir genoa, la potencia se basa principalmente en ella y la mayor complementa esa labor.

Repetiremos que para optar a una ceñida más cerrada necesitamos tener un foque con un ángulo de ataque pequeño. Para optar a un ángulo de ceñida con menor altura, con más velocidad y estabilidad en la potencia escogida, necesitamos tener un mayor ángulo en todo el alto de la vela.

Cuando el estay de proa (si es que el foque está envergado a él) está suelto, con comba (Sag) el ángulo de ataque es variable a lo largo del gratil, siendo más aguzado en los extremos y con mayor ángulo en la zona media.



Estos botes (clase Melges?) tienen un foque muy largo y les es difícil eliminar la comba del estay. El ángulo de ataque varía con la altura. Eliminar el sag o la comba de foque o de la genoa es primordial para lograr un buen proyecto de forma y de funcionamiento de toda la superficie de la vela. Se sabe que estos botes no pueden optar a ceñidas con buen ángulo. El remedio ahora lo conocen.

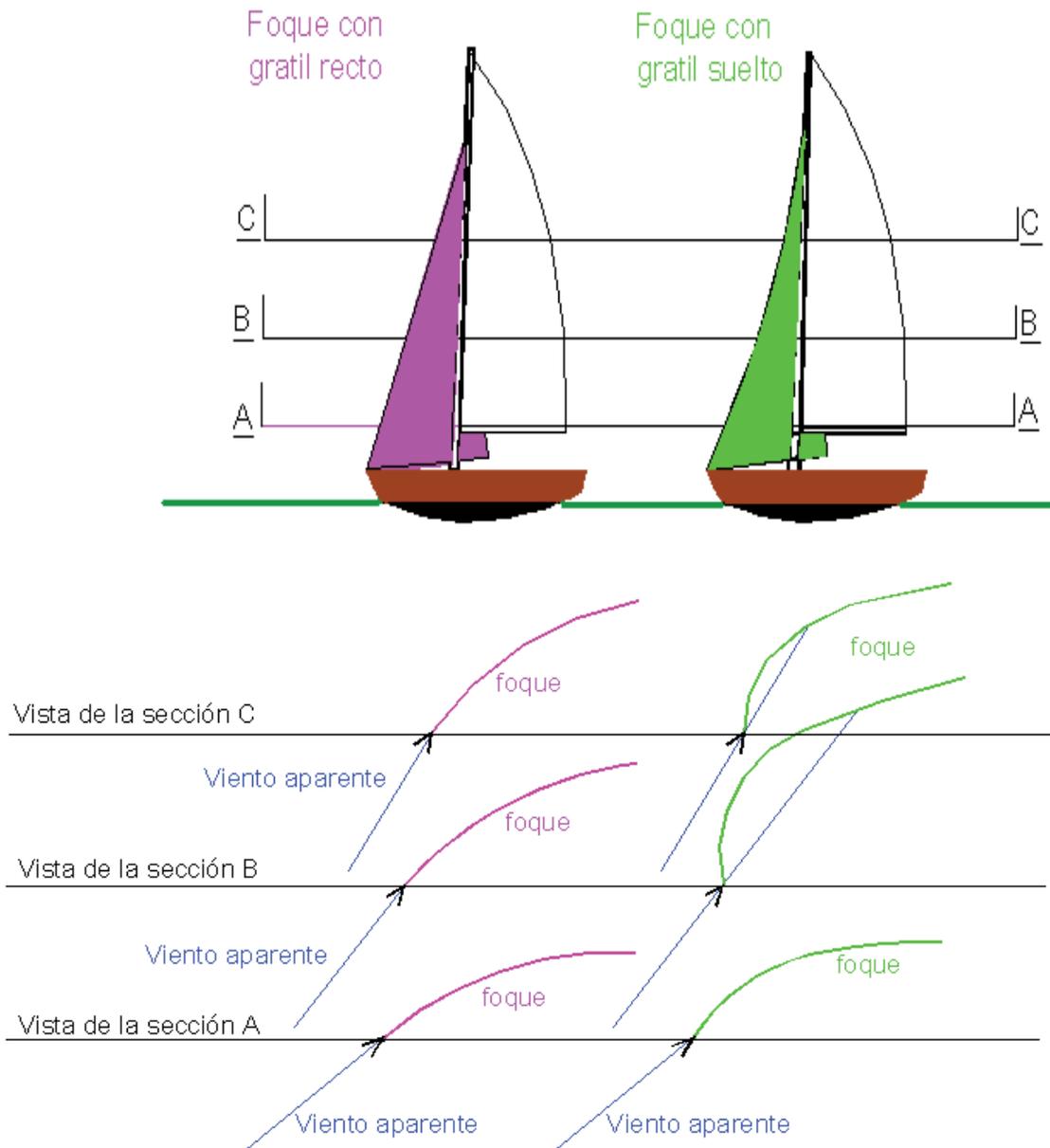
Como sabemos, la incidencia del viento aparente tiene variaciones en la dirección y en dimensión o velocidad, por lo que si no adecuamos el ángulo de ataque a esas condiciones que nos impone el viento aparente, no podremos captar la máxima potencia del viento, o lo que es lo mismo, no podremos desviar sin turbulencias o freno el máximo volumen o masa de aire por la superficie del foque y además estaremos enviando un flujo turbulento sobre sotavento de la mayor. Resumen: más freno.

En antiguas embarcaciones de foque al tope, o de estay muy largos, con la máxima tensión del estay que permitían los ajustes o la embarcación, no se lograba eliminar la comba. La solución fue dar al foque la forma de la comba del estay en que se envergaba, y con esto lograr en todo el alto el mismo ángulo de ataque. La inclinación para adecuar ese ángulo de ataque a la incidencia del viento aparente, es tarea del twist.

Esto puede generar navegaciones inestables y requiere de un atento timonel, pero la potencia que se genera es muy superior a tener un “potpourry”, una gran variedad de ángulos de ataque en el gratil del foque.

color

Como puede apreciarse en el croquis siguiente, el punto de mayor ángulo de ataque en un foque con sag, como los de la foto anterior está ubicado cerca de la mitad de la altura, en la sección B.



Nótese que:

El viento aparente cambia con la altura y por lo tanto es diferente para cada sección.

El foque con el gratil recto, sin sag (comba), la vela tiene ángulos de ataque adecuados a la incidencia del viento aparente a distintas alturas.

El foque con el gratil suelto, (con sag) primero, no puede mantener el mismo rumbo que el primer barco y tendrá que caer en un par de grados, y segundo, que con ángulos de ataque tan distintos, el foque tendrá sólo en una sección aporte en potencia completo por ambos costados. Sin embargo el resto del foque aportará turbulencias por sotavento, y por barlovento el ángulo de incidencia del viento generará más abatimiento y freno que aporte al movimiento en el sentido del rumbo.

Por esta tan importante razón, es que **cuando pretendemos ceñir con velocidad y con un buen ángulo, con las actuales velas, es indispensable que el foque presente una línea perfectamente recta en punto de ataque del viento.**

Si el timonel no se distrae logrará una clara ventaja en ángulo y velocidad de ceñida. Pero si el timonel es distraído cada error es más grave que una vela con distintos ángulos de ataque.

Cuando navegamos en mares tortuosos y vientos arrachados, lo perfecto puede ir en contra de la velocidad y será preferible una ceñida más abierta y que permita algunas involuntarias distracciones.

Para otros rumbos cercanos o vecinos a un largo o por la aleta, a favor del viento o portantes, la forma del foque debe ser más embolsada por lo que si soltamos paño puede ser ventajoso.

A propósito, cuando digo soltar paño en esos rumbos, me refiero a aflojar la maniobra del cunningham del foque, porque el estay de proa afloja tensión automáticamente al trabajar la botavara en sentido diagonal o transversal (empopada)

El **cunningham** es otro ajuste que modifica el ángulo de ataque, porque si lo cazamos en extremo provocaremos una arruga que une el tope del mástil con el ollao en que se acciona el cunningham. Tal como he mencionado, es una forma de esconder un trozo de vela tras el mástil para quitar potencia a la vela. Esta no es una pequeña superficie ya que tiene todo el alto del gratil. Bien administrada la tensión del cunningham, ayuda a mover la profundidad hacia adelante y como consecuencia aumenta el ángulo de ataque obligándonos a buscar rumbos con menos altura. Personalmente no uso el cunningham salvo cuando deseo quitar potencia a la vela por exceso de viento. Tampoco tenso en exceso la driza, que es lo mismo.

Recordemos además que si llevamos la mayor profundidad hacia proa, por sotavento estamos corriendo el riesgo de crear sustentación en esa zona, y pérdida de sustentación hacia atrás. Sin embargo por barlovento esa forma ayuda a que la resultante de la fuerza sobre la vela sea más en el sentido del movimiento que el de abatimiento, o sea hacia delante, pero con más freno.

El tema no termina aquí porque la mayor también tiene su propio drama.

El problema en la mayor comienza con el “windage” o sea con la interferencia que el mástil provoca en el viento que acomete sobre el paño de la mayor, y que es más grave por sotavento, ya que necesitamos, para lograr una buena sustentación, que el viento que se desliza adherido a ese costado inicie su recorrido en forma laminar.

Las formas de las velas cambian según la marca y según el uso. Pero cualquiera que sea la condición de la mayor, debe dársele un ángulo de ataque en toda la altura de acuerdo al viento que recibe. Para esto es indispensable disponer de un mástil que sea capaz de deformarse en el sentido de la crujía y de esa forma estirar el paño que siempre es curvo en la zona del gratil.

Hoy nadie fabrica una vela mayor con el gratil recto, ya que los mástiles de aluminio son deformables, y permiten aplanar el exceso de paño de la zona del gratil. Todas las velas mayores que se conocen en el mercado tienen esa comba de fábrica en el gratil, por lo que es imprescindible un mástil flexible.

Pero, ¿cuán flexible debe ser el mástil?

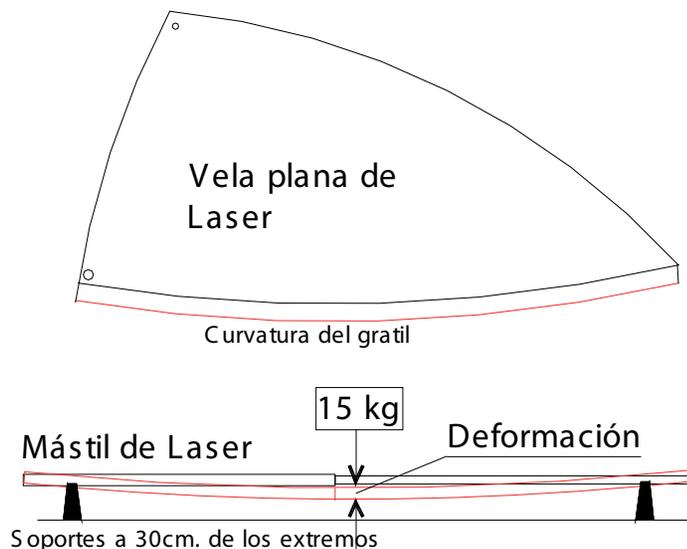
El tema del mástil da para ser tratado en forma especial.

Cada vela debe tener un mástil que se ajuste a la forma de la vela.

De acuerdo a lo que nos informó, un instructor de vela español, en un seminario organizado por Fedevela, los navegantes que participan en regatas importantes de LASER en Europa usan un mástil en no más de diez regatas. Después de eso dicen ya está fatigado y que la deformación excesiva no da con la forma de la vela.

Los que cuidan su mástil, y deben trasladarlo en un carro sobre el casco, deben preocuparse de poner soportes para evitar que en cada bache del camino se golpee y se deforme, colaborando con la fatiga del material. Deben trasladarlo con el canal de envergue hacia abajo, para que si se deforma lo haga en el sentido opuesto al que debe trabajar cuando navega.

Para saber si un mástil de esos está aun en condiciones, debe someterse a una prueba de carga, según se aprecia en el croquis:



Se mide la deformación del mástil después de aplicar la carga puntual de 15 kilos en el centro y se compara con al curvatura del gratil de la vela que está estirada sobre una superficie plana. Para que el mástil esté en condiciones de trabajar con esa vela, debe presentar una deformación menor que la que experimentó el mástil.

Para otras embarcaciones el ensayo es similar.

Si el mástil se deforma más que la curvatura de la vela, entonces aparece una arruga que divide el paño de la vela, que se inicia en el outhaul y termina en la zona media del mástil.

Con el mástil adecuado para la vela, se puede lograr dar a la zona del gratil, el ángulo de ataque en todo el alto, con todas las ventajas que eso irroga.

Mi amigo Rodrigo compró un mástil predeformado de fábrica. Ahora su vela mayor queda con esa arruga que divide la profundidad en dos zonas. Tratamos de darle forma y fue imposible lograrlo. Cada vela tiene su mástil.

62.7.- Profundidad en el sentido vertical

Las velas triangulares han quedado rezagadas respecto a nuevas formas cuyas cuerdas están calculadas en relación a la variación del viento con la altura.

Si el viento tuviera la misma velocidad en todo el alto de la vela podríamos tener una sola cuerda y una sola profundidad.

La diferencia de velocidad mientras navegamos modifica además el rumbo aparente que se soluciona con el "TWIST"

Nuestras velas son "casi" triangulares. Tienen la ventaja sobre una vela cuadrada en que al existir mayor velocidad de viento en la parte alta el flujo permanece adherido manteniendo una mayor profundidad, pero también es la zona de mayor de mayor cabeceo. En la parte baja al tener menos velocidad de viento, puede tener más profundidad, pero con más peligro de separación por la mayor longitud de la cuerda.

Una vela triangular es más eficiente que una vela cuadrada de la misma superficie, porque genera menos arrastre, menos freno que una cuadrada.

La profundidad en cada paño lo define la “profundidad límite.

Algunas fábricas de velas recomiendan para vientos medios, cuando interactúan foque y mayor, emplear formas con mayor profundidad en los paños altos, porque es más fácil aumentar la profundidad en la parte baja de la vela para igualar la relación profundidad / cuerda de la parte alta, que al revés.

Si la parte alta es plana, poco podemos hacer para darle profundidad sin afectar el resto de la vela.

Los mástiles que tienen la parte alta más flexible o cónica, permiten aplanar esa mayor profundidad de la parte alta, cuando el viento aumenta. Si no dispone de punta cónica queda la alternativa de emplear sables más rígidos.

La profundidad en la parte baja de una vela mayor se puede regular con la tensión del outhaul y el cunningham. Es importante medir la profundidad de la vela y anotar en la parte posterior de la botavara dicha medición respecto a la posición del outhaul. Para cada foque debe numerarse la posición del carro según el viento, y marcar la escota con cintas adhesivas de dos colores para detectar la distancia del puño de escota al carro.

Cuando se trata de una embarcación de una vela, los fabricantes recomiendan aquellas que tienen la posición de máxima profundidad alrededor de 40% en todo el alto. Esto no significa que con la profundidad al 40% sea la ideal, sino que a partir de esa ubicación, la posición de la profundidad puede moverse en el rango 35 a 45% si la tela así lo permite.

Tal como dije, son recomendaciones de fabricantes que no coinciden exactamente con lo que en estos apuntes estamos afirmando..

62.8.- Twist

El TWIST se define como el ángulo formado por la cuerda de cada paño con la botavara, o la cuerda más baja en el caso de un foque. Es la forma helicoidal de una vela. Cuando decimos que debemos darle más twist a una vela nos referimos a darle más torsión, o sea aumentar la diferencia de ángulo de las cuerdas respecto a la más baja.

Veremos el twist de una misma vela bajo dos condiciones:

a.- Cuando está expuesta al viento sin que se mueva la embarcación, o sea cuando se afina en el muelle o en tierra,

b.- Cuando está navegando con viento aparente.



Se aprecia un Twist exagerado en ambas velas

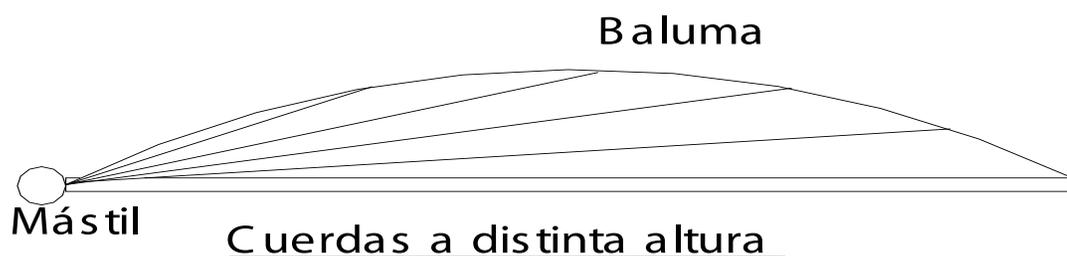
Condición a.-

Sabemos que el viento a ras de suelo es menor que a un metro de altura y este a su vez es menor que a los diez. Si el viento a un metro es de 2 nudos, a los cinco puede tener 4 nudos y a los 10 metros 6 nudos.

El viento real aumenta gradualmente con la altura y su diferencia se hace mayor cuando el viento tiene poca velocidad (Erick Twaname) De acuerdo a esto una vela quieta, está expuesta en un mismo instante a un viento real en el mismo sentido y dirección pero de diferente velocidad.

Estamos hablando de una vela triangular por lo que en cada sección o paño a medida que subimos tiene el mismo ángulo de ataque, pero las cuerdas son diferentes, lo que de acuerdo a la definición, tienen respecto a la más baja un determinado ángulo de variación.

Si esto lo miramos desde arriba, veremos que las cuerdas de las distintas secciones tienen diferentes ángulos.



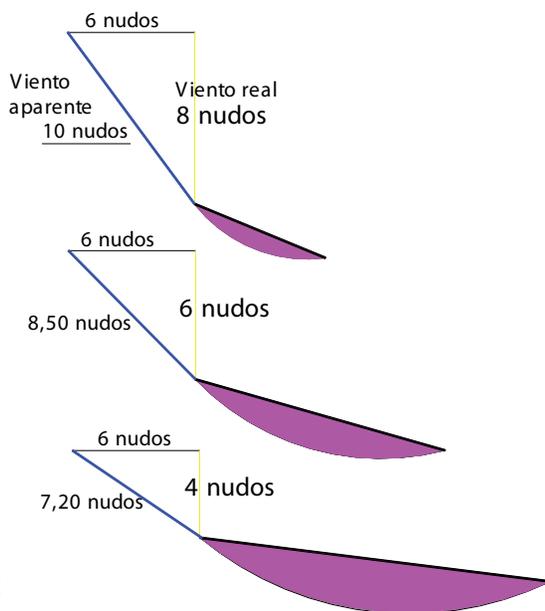
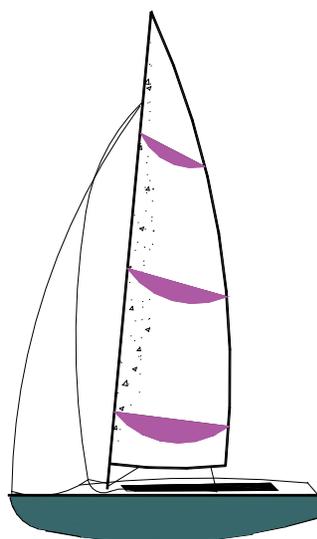
Si preparamos la vela en el muelle, dándole una pequeña carga o incidencia del viento, **la profundidad límite** de la parte baja dependerá de la velocidad del viento y del largo de la cuerda. De acuerdo a esto puede tener una profundidad límite igual o menor que en la parte alta. Lo importante es que esta zona de la vela puede arreglarse fácilmente con los ajustes.

El twist bajo esas condiciones lo determina la salida limpia del flujo de aire en cada sección, en toda la altura de la vela. (Catavientos rectos en el sentido del viento)

Condición b.-

Cuando estamos navegando, generamos viento propio en contra por lo que el viento aparente, que es que ocupamos para navegar, no tan sólo tiene diferente velocidad, como en el primer caso, sino que además tiene distinto sentido, tal como se ilustra en el croquis, por lo que para mantener el ángulo de incidencia del viento sobre el gratil, debe ajustarse el twist a la nueva condición.

Navegando a la cuadra



Es importante destacar en el croquis, que el viento real puede cambiar de 4 nudos en la parte baja a 8 nudos en la parte alta de la vela, o sea existe una diferencia de 4 nudos. Sin embargo si nuestro bote genera un viento propio de 6 nudos (es un ejemplo), el aparente varía en 2,80 nudos, luego en este hipotético caso el twist debe disminuirse respecto al que determinamos en el muelle.

Si se hacen nuevos cálculos con distintas velocidades de viento más cercano a lo real, se puede llegar a determinar que si el viento real tiene una diferencia de 4 nudos la diferencia en el viento aparente se mantiene en una diferencia entre el 15 y 18 %. Eso significa que el ángulo de la botavara y una cuerda ubicada a la altura del último sable es de 20° para un viento suave. Algunos fabricantes de vela han empleado esta diferencia para poner el sable más alto con un ángulo respecto a la horizontal, de modo que sirva de referencia o aproximación al twist, pero no es una regla general.

El twist en una vela se modifica subiendo o bajando el puño de escota, o la parte posterior de la botavara.

El twist del foque se regula con el carro de la escota. Si el carro está adelante, la fuerza ejercida por la escota es hacia abajo, lo que tensa la baluma o la cierra (y de paso aumenta la profundidad) y con el carro atrás la fuerza es más horizontal que vertical lo que permite disminuir la tensión de la baluma y aumentar el twist.

El twist adecuado se determina con la ayuda de las “lanitas o catavientos” dispuestos en la baluma.

Para darle la torsión exacta a nuestra vela, se procede a soltar (lascar) la escota hasta que la mayor se desvente completamente y a continuación se tensa lentamente hasta el punto en que **todas las lanas trabajen de igual forma y al mismo tiempo, y por lo tanto desventarse de igual forma**. Si eso no ocurre hay que modificar el twist empleando los ajustes indicados anteriormente.

Cuando estamos ciñendo con viento muy fuerte y tenemos una correcta incidencia del viento sobre la vela bien trimada y a pesar del todo el contrapeso que podemos hacer la escora aumenta demasiado, la causa es un exceso de potencia. La solución a este problema es disminuir la superficie expuesta al viento, que se logra aplanando la vela lo que provoca inestabilidad o aumentando el twist que resta potencia a la parte alta de la vela, manteniendo estabilidad.

También se emplea más twist cuando el viento es inestable en dirección e intensidad. Al tener la vela un amplio margen de posibilidades de incidencia en toda la altura, siempre va a existir una porción de vela en buena posición para recibir el flujo. Al revés si mantenemos en la vela una sola posibilidad de incidencia correcta del viento, tendremos que la vela aporta en forma intermitente al movimiento. La decisión es, como siempre, del capitán que conoce la capacidad de su timonel.

Bajo condiciones de viento estable y poco cabeceo, se puede optar a un twist que responda a las distintas incidencias de viento. Una forma de dar con el twist adecuado, es trabajar la posición del puño de escota mientras se navega, y una vez determinada esa posición, ajustarla nuevamente para la mayor velocidad que se ha adquirido. Este es un proceso que debe revisarse cada vez que cambian las condiciones de velocidad y de viento.

Normalmente cuando existe poco viento, la diferencia de velocidad entre la parte baja y alta es mayor que cuando el viento es mayor, por lo que bajo la primera situación debe pensarse en dar mayor twist que con viento fuerte.

Con viento fuerte podemos pensar que las partículas del viento mantienen trazados más horizontales, lo que teóricamente permite cerrar las balumas, o disminuir el twist y aumentar levemente el ángulo de cazado para permitir que pase mayor cantidad de masa de aire tanto por el canal como por barlovento y sotavento de ambas velas, hasta donde la tripulación sea capaz de evitar la escora.

Si la potencia es mucha o la escora aumenta demasiado o los abdominales revientan, debemos achicar las velas dándole más tensión al cunningham, aumentando el twist o escondiendo parte de la orza, si es posible.

Es muy importante el tema del twist en el rendimiento de una vela, más aun en el caso de la mayor cuando está precedida de un foque que le envía un flujo de aire que tiene distinta velocidad y distinto ángulo respecto del viento en que se navega.

La forma del twist del foque debe tener relación con el twist de la mayor. En otras palabras, el canal que forman foque y mayor debe mantener una sección que permita que el flujo se desplace sin interferencias desde el borde de fuga del foque hasta el borde de fuga de la mayor.

Al respecto, los que buscan diferencias de velocidad y por lo tanto diferencia de presión, tienden a estrechar este canal, y lo único que consiguen es disminuir el flujo y por lo tanto la capacidad de las velas para desviar el máximo flujo en el mayor ángulo. El aire en ambientes libres, tiene una envidiable libertad y posibilidades de rutas, todas las que quiera, porque no está metido en una zona limitada, y si se estrecha el canal, siempre buscará nuevas rutas por donde pasar.

63.- Aprendiendo a dar Twist al foque

En general resulta un buen entrenamiento y un mejor aprendizaje, jugar en tierra con un foque expuesto a un viento estable. Para iniciar el juego deje que el foque tome el rumbo del viento. A partir de ese momento tome el puño de escota con la mano y muévelo manteniendo la superficie estirada hacia un costado hasta que el ángulo de incidencia del viento acceda tangencialmente al borde de ataque del foque (catavientos cerca del gratil). Muévelo a continuación hacia adelante y hacia atrás para ver la profundidad, hacia arriba y hacia abajo para modificar el twist mirando permanentemente el trabajo de los catavientos de la baluma y sobre todo lo que ocurre en la forma en general bajo estos ajustes manuales. Encontrar la forma justa de incidencia del viento y el ángulo de cazado es la tarea, o sea ubicar el puño de escota donde el foque desarrolla la máxima potencia sin perturbar el flujo que lanza sobre la mayor.

Navegando antes de la partida ese ejercicio debe repetirse para fijar la escota en el punto exacto en que todas las lanas trabajan enviando flujos limpios sin perturbaciones en toda la altura. Marcar con cinta adhesiva la escota y la posición del carro en el riel. Ese punto es de gran importancia, después de virar, para cuando vuelva a navegar en la misma amura.

Los antiguos campeones olímpicos no se complicaban tanto y sólo recomendaban fijar el rumbo de la escota del foque en la dirección de la bisectriz del ángulo formado por el pujamen y la baluma o sea en el puño de escota, más o menos 2 grados. Pero eran otras formas de vela, otros materiales, otras técnicas de fabricación y otros mástiles. Seguidores de este sistema aconsejan ajustar el sentido de la escota en función de la relación de los largos de gratil y pujamen. Creo que ese sistema basado en la experiencia de esos destacados navegantes, hoy sólo puede servir como base para iniciar el proceso de ajuste o afinamiento.

64.- Velas deformadas.

Este es un tema sólo para navegantes como yo.

Es la triste realidad de las velas que han tenido muchos combates. ¿Qué debemos hacer con ellas? En términos prácticos yo no puedo comprar velas cada vez que las necesito y creo que es el común de los navegantes, por lo que normalmente mis velas están muy usadas.

Ocurre que con el tiempo la tela, y las costuras de la parte más a popa de la vela siempre cede y pierde la posibilidad de mantener la curvatura. Si uno analiza la forma de esas velas gastadas, pero que aun sirven, se puede apreciar que la profundidad se desplaza hacia adelante, y cuando sopla fuerte, la zona de los sables se deforma hacia sotavento formando una verdadera S, y no es una casualidad, porque en la zona de la baluma la sustentación más la acción directa del viento así lo determinan.

La solución es comprar una nueva para vientos fuertes, o descoser la mitad de la costura del paño para sacarle un poco de tela en forma triangular, en cada paño. Normalmente al borde puede recortarse 1 cm disminuyendo hacia el centro. Tendrá vela para vientos medios para otro rato.

65.- Diseño y fabricación de velas

Los fabricantes controlaban básicamente tres variables cuando fabricaban una vela: curva del gratil, pinzado de los paños y posible estiramiento de las velas.

Con las telas anteriores a la aparición del dacrón, la profundidad la daban con un exceso de tela en la zona del gratil y el resto plano. La única forma de usarlas con algún grado de éxito en ceñida, era curvando en exceso el mástil, cosa relativamente difícil de lograr con mástiles de madera, o alargando las uniones al mástil. Con el tiempo eran una bolsa de gran profundidad.

Posteriormente, con la aparición del dacrón, la forma de las velas se daba aplicando la técnica del pinzado de paños que eran cosidos con hilo y más tarde pegados y cosidos.

Con la aparición de nuevos materiales como el Kevlar, el Mylar y las fibras de carbono, se pudieron construir velas que mantienen la forma incluso en los momentos de máxima solicitación. El Kevlar prácticamente no se estira, pero como se trata de un paño tejido con fibras en dos direcciones aparecen algunas deformaciones cuando la fuerza es ejercida en forma diagonal.

Llegar a determinar las solicitaciones de una vela en condiciones severas es fundamental para la orientación de las fibras en el paño total de la vela. Basado en ese conocimiento, hoy se fabrican foques sin costuras o sea de un solo paño.

Las limitaciones del Kevlar son el excesivo roce con los elementos metálicos del bote y la sobre exposición a los rayos UV.

El Mylar es una película que va pegada y que no cede con las solicitaciones que están dentro del rango de su capacidad de soporte. Si esa capacidad es sobrepasada, simplemente se rompe.

Con la incorporación de estos materiales más la incorporación de livianas fibras de carbono se ha logrado fabricar velas más livianas que las equivalentes en dacrón. Debido a su indeformabilidad pueden emplearse en un menor rango de viento, lo que en una gran embarcación aumenta el inventario de tipos de vela.

Hoy las velas de los grandes yates las fabrican de acuerdo al viento y a la rigidez del mástil, de modo que podemos decir que para cada vela hay un mástil adecuado. Si ocupó una vela para mástil flexible en un mástil rígido, voy a tener una arruga desde puño de amura hasta el tope del mástil pegado al gratil.

Actualmente las mejores fábricas de velas, diseñan un molde a escala natural y sobre ese molde van adhiriendo las distintas capas de tela, algunas en caliente, para rematar con refuerzos de fibras de carbono. Estas velas se hacen para mástiles con formas predeterminadas, para rangos de viento muy precisos y son prácticamente indeformables.

Esta técnica de fabricación se ha reemplazado por la incorporación de programas computacionales que dibujan la forma de la vela y después entregan los paños para el corte de la tela. El "armado se hace en cualquier taller que disponga de buenas superficies y máquinas de juntas.

En las embarcaciones de clase y menores se continúa empleando telas de dacrón, porque las ventajas que presentan el Kevlar y el Mylar para velas de menor dimensión no son tan importantes como en las de los grandes botes.

Las velas de dacrón con algunos refuerzos permiten grados de deformación, de modo que con los ajustes se pueden adecuar tanto para vientos fuertes como leves, y con el ángulo de ataque que queramos darle. Una vela diseñada para 15 nudos puede modificarse dándole forma adecuada para vientos con más y menos 5 nudos. Fuera de ese rango la vela empieza a ser ineficiente, por lo que la elección de la vela antes de una regata es fundamental.

Con una vela plana se pueden lograr mejores velocidades y apuntar más si el mar está plano, pero requiere de un timonel demasiado atento, pues hay que recordar que el viento siempre está cambiando y si a eso le agregamos el cabeceo que modifica el viento aparente, se comprenderá que es conveniente usarlas de esa forma sólo en condiciones ideales. Se recurre a una ceñida apretada para llegar a una boya y evitar nuevos virajes. Frente a un obstáculo peligroso jamás se debe arriesgar una sobreceñida porque esos obstáculos actúan como imán. En este caso, las leyes de Murphy se cumplen al 100%.

66.- Formas de la vela

En la aeronavegación se han estudiado miles de perfiles aerodinámicos bidimensionales, y a cada uno se le ha puesto un número y un nombre. Pero más que eso, sometidos a pruebas en túneles de viento o sea en vuelo simulado, se pudo determinar el arrastre generado (draft) el alzamiento (lift) y la variación del centro de presión para cada velocidad de vuelo y para cada ángulo de incidencia de viento, y el ángulo en que entran en stall. La comparación de estos resultados permitió establecer el siguiente principio básico en la aerodinámica:

“Cada perfil aerodinámico es eficiente para una de velocidad de desplazamiento determinado, lo que equivale a decir que para cada velocidad de viento existe un perfil que permite el máximo alzamiento con el menor arrastre”.

La definición de perfil aerodinámico establece que es una forma que tiene **la menor resistencia o arrastre** cuando se desplaza o está sometido a un flujo.

Nuestras velas son distintas al ala de un avión, porque emplean en distinta proporción la presión directa y la sustentación, pero también son al fin de cuentas un perfil aerodinámico porque nos interesa que generen poco arrastre, por lo que aplicando este principio básico de la aeronavegación a nuestras velas, la tarea es encontrar el perfil que genere la máxima sustentación, con la incidencia del viento de acuerdo al ángulo de ataque, para el viento que se nos presenta, con el menor arrastre. A medida que el viento cambia, porque siempre cambia, tenemos que hacer ajustes que permitan mantener la eficiencia de la vela.

Sin embargo, decir lo anterior es fácil pero difícil detectar la cantidad de arrastre en nuestra vela. Pero siendo la fuerza de sustentación una muy veleidosa y coqueta fuerza que se tiene y que se pierde con facilidad, la tarea es privilegiar la forma que nos asegure una sustentación que nos acompañe permanentemente y ojalá a toda su capacidad, porque la de presión directa, la noble y fiel compañera, sabemos que contaremos con ella bajo cualquier condición, mientras sople. A estas alturas se supone que ya estamos capacitados para encontrar la profundidad límite explicada en estos apuntes, destinado a la fuerza de sustentación.

Cuando logramos tener trabajando a la sustentación, nuestro cuerpo siente la mayor velocidad y el velero reacciona en forma más ágil.

Para bajas velocidades de viento, es posible que se nos presente más de una sola forma de la vela en que todos los sensores están trabajando casi a la perfección, pero no nos están diciendo nada sobre el arrastre que esa forma genera.

La respuesta está en buscar la profundidad límite, que es donde tenemos la máxima potencia útil.

Si el mar está plano y podemos mantener la incidencia del viento en forma casi permanente, podemos aumentar el aparente. Es el momento de buscar una forma más plana, con un mejor ángulo, que sí sabemos que tiene menos arrastre, pero es en un rumbo de ceñida más inestable. Si el mar está con grandes ondulaciones nuevamente la **respuesta es buscar la profundidad límite.**

La forma de una vela depende también de otros factores, como por ejemplo, el rumbo al que estamos optando, o de las características del barco, si es liviano o muy pesado, o de las características del mar en que navegamos, si es plano sin corrientes o grueso con olas reventando, y en menor grado de las propiedades o características del agua y de la temperatura ambiente.

Con mayores temperaturas podemos optar a una mayor profundidad límite. La mayor temperatura aumenta la viscosidad en el aire, lo que nos permite mayor profundidad de vela para un aire más liviano. La mayor viscosidad del aire ejerce mayor resistencia al desplazamiento.

Una vela con **profundidad límite** y bien llevada permite la máxima potencia en nuestro motor. Es una marcha reforzada que nos permite navegar en terrenos difíciles, con olas, con mucho peso a bordo, con vientos inestables. Es la marcha reforzada de un automóvil, y no la más rápida.

En el laboratorio se pudo determinar que la profundidad límite es la que genera más potencia y más arrastre. Las menores profundidades generan menos arrastre y disminuye ligeramente la potencia, y de acuerdo a la ubicación de la profundidad, la relación alzamiento arrastre puede mejorarse.

67.-Las recetas

Los libros y los experimentados navegantes siempre dan recetas que en algunos casos son valiosas cuando se trata de principiantes o de navegantes que no han profundizado sus conocimientos en el arte del manejo de las formas que deben tener para las distintas condiciones que nos presenta el medio en que navegamos.

Pueden ser útiles además cuando no tenemos tiempo para pensar y debemos actuar, pero tienen una importancia adicional porque nos permiten conocer la opinión que otros navegantes tienen sobre temas que nos interesan y compararlas con nuestras propias experiencias.

La forma de una vela obtenida con este procedimiento no debe ser más que una aproximación gruesa de la forma definitiva. Nosotros debemos ser capaces de lograr la forma de una vela más eficiente, simplemente porque se puede lograr, aplicando sus propias experiencias, el conocimiento de sus velas, de su bote, y aplicando los conceptos incorporados en estos apuntes.

A falta de conocimiento de las características físicas de cada forma de vela, las recetas siempre se refieren a las formas geométricas o de trimado.

La receta siguiente fue rescatada desde una revista de navegación:

1.- Vela mayor para mar plano

<u>Nudos viento</u>	<u>Tensión Vang</u>	<u>Tensión popel</u>	<u>Escota</u>
----------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------

Mayor

De 0 a 4	sin	media	suelta
5 a 10	leve	leve	leve
12 a 15	leve	fuerte	fuerte
16 a 20	media	fuerte	fuerte
21 a 28	fuerte	fuerte	fuerte

2.- Vela mayor para mar grueso

<u>Nudos viento</u>	<u>Tensión Vang</u>	<u>Tensión popel</u>	<u>Escota</u>
De 0 a 4	leve	leve	muy suelta
5 a 10	media	suelto	suelta
12 a 15	fuerte	leve	media
16 a 20	muy fuerte	fuerte	fuerte
21 a 28	muy fuerte	muy fuerte	fuerte

Esta receta no habla de ángulo de ataque, de profundidad, de posición de máxima profundidad, de la forma de fábrica, del ángulo al que deseamos apuntar, de los catavientos, de la pérdida de sustentación, de tipo de bote, etcétera.

Para interpretar esta receta, necesariamente debo saber los efectos que provoca cada ajuste de control en la forma de las velas. Como por ejemplo:

El vang curva a un mástil de igual sección hasta el tope, principalmente en la parte baja, y a uno cónico en forma distinta. En el mástil convencional, aplana la parte baja en el sentido diagonal de la vela, tensa la baluma, disminuye el twist, traslada la máxima profundidad hacia la baluma, aumenta la profundidad en la parte media y alta de la vela, modifica el ángulo de ataque de la mayor, da más tensión

al estay de proa y modifica el ángulo de ataque del foque, y cambia la posición del centro de empuje que afecta al equilibrio longitudinal del bote. Esto tiene como consecuencia navegar con carga en el timón.

Por eso se le llama el peligroso vang.

Normalmente un aumento del vang debe ir acompañado de mayor tensión del cunninham. En un mástil muy flexible la excesiva deformación provoca una arruga que va desde el outhaul a la parte media del mástil.

Si el mar está plano y el viento estable en 8 nudos, es posible emplear una vela más plana que la que establece la profundidad límite y tensar el vang para cerrar la baluma trasladando la mayor profundidad hacia popa y paralelamente achicar el ángulo de ataque, que me permite más velocidad con un inestable ángulo de ceñida. Estoy imaginando que estoy navegando en un Pirata o en un Lightning.

Es lo que yo hago normalmente con buenos resultados, sin embargo la receta anterior me indica que la tensión del vang debe ser leve, lo que corresponde a un gran twist y baluma abierta y poca profundidad porque el recorrido ascendente del flujo establece una mayor cuerda. Del mismo modo establece que debo soltar el popel, o sea que el mástil vuelva a enderezarse. Como hemos visto, eso significa distintos ángulos de ataque en todo el alto de la vela, que tiene como consecuencia la separación del flujo por sotavento en las zonas en que la incidencia del viento no coincide con el ángulo de ataque. Un mayor ángulo de ataque no nos permite optar a una buena ceñida.

Creo que las recetas son instrumentos entregados con buenas intenciones por experimentados navegantes, pero las variables son tantas que es difícil resumirlas, y para que sean un aporte deben estar referidas a un tipo de bote, porque las generalizaciones normalmente nos conducen a cometer errores, tal como hemos visto.

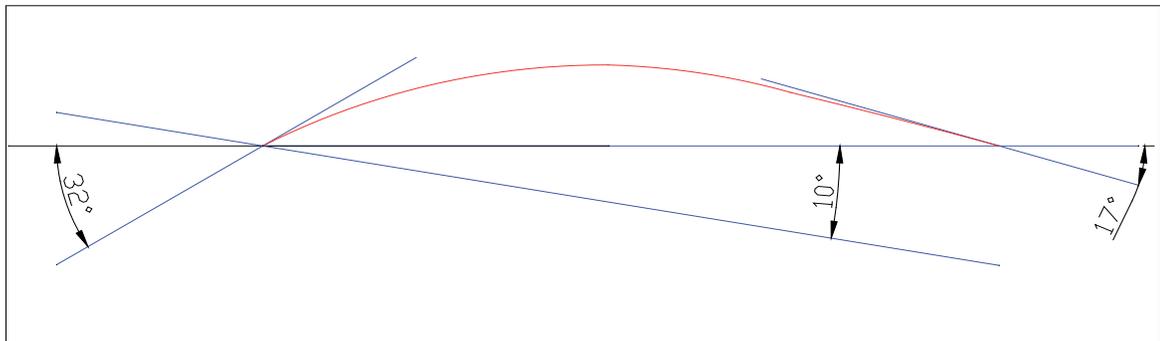
Saber dar forma a la vela de acuerdo a las condiciones de mar y estabilidad y velocidad del viento es sumamente importante para los que participamos en regatas. Es difícil asumir que perdimos una regata por un metro de diferencia porque no aplicamos oportunamente un ajuste en un momento determinado de la regata.

Las velas son el motor de nuestra embarcación. Un motor más potente nos da más posibilidad de estar entre los que disputan la punta. El motor en una regata es como el dinero en la felicidad. Dicen que el dinero no hace la felicidad, pero ayuda una enormidad. Otros agregan que el dinero no hace la felicidad, cuando es poco.

Saber dar la forma adecuada a la vela para tener un motor potente y menos arrastre es obligación de todo buen navegante. Muchos dicen que navegan por placer y que lo importante es que el bote se mueva sin tanto sufrimiento, pero póngase al lado de uno de ellos y se sorprenderá ver cómo se desfiguran y comienzan a ver la forma de ir más rápido que usted. Si no puede ganar o ir más rápido que usted seguramente dirán que no les importa competir, pero la erupción por dentro les durará mucho tiempo.

Otra de las recetas que me ha llamado la atención, se refiere más a la forma de la vela que a las condiciones en que debe trabajar. Afirman que es la mejor forma de vela, obtenida por sistemas computacionales. La cito textualmente:

“Después de haber ajustado el cunningham, outhaul, boomvang, las correderas, curvatura del mástil, etc.” “La forma de una sección de la vela está definida con la exactitud suficiente por dos porcentajes y tres ángulos: el comba, expresada en el porcentaje de la cuerda, (la profundidad, 12%), la posición de la máxima profundidad, (47%), el ángulo de cazado (10 grados), el ángulo de la entrada respecto a la cuerda (32 grados) y la salida (17 grados), como se indica en la ilustración”.



El croquis muestra una sección de un perfil curvado que tiene un ángulo de ataque de 32°, un ángulo de salida en el borde de fuga de 17°, una profundidad de 12% al 47%, y un ángulo de cazado respecto a la crujía de 10°.

Está claro que es una afirmación que cuesta digerirla en forma rápida porque no concuerda con lo que hemos desarrollado y analizando en estos apuntes, pero tiene el valor de haber sido expresada y ese sólo hecho ya es valioso. Si esto hubiese sido acompañado por una memoria de ensayos, o de un respaldo técnico o científico entendible, probablemente gran parte de lo expresado en estos apuntes estaría de más.

Sin embargo si hemos entendido lo que en estos apuntes se ha planteado, estamos en condiciones de afirmar que la forma de la sección detallada, probablemente es la más eficiente para una condición de viento determinada, y esa misma sección es deficiente para otras condiciones. Nótese que estamos hablando de una sección, falta considerar la vela completa o sea en todas las secciones que tiene en su altura, porque sabemos que en un mismo instante una vela recibe vientos de distinta velocidad, más lento en la parte de mayor cuerda y veloz en las zonas altas en que la cuerda es menor.

En general, el empleo de recetas o a tablas de ajuste de control, tienen utilidad cuando estamos aprendiendo a navegar, cuando están a la mano, o cuando las hemos aprendido de memoria, o para aprender el efecto de cada ajuste. Más allá de eso, debemos saber como armar nuestras velas, como afinar nuestro motor. Creo en que “es mejor enseñar a pescar a un hambriento, que regalarle un pescado” o sea es preferible, que un navegante aprenda a aplicar los ajustes para lograr el efecto que necesita, que le servirá para toda la vida, a tener que buscar las recetas cuando se enfrente a la menor dificultad y no tenga el manual a mano.

Los últimos yates que han llegado a las competiciones, traen un cuadro con el V.M,G o sea la velocidad que debe tener el yate en determinado rumbo con determinado viento, pero que está confeccionado probablemente en agua dulce sin oleaje importante y a una temperatura diferente. La tarea es para el trimer lograr la velocidad indicada en el manual y superarla, sin una receta en la mano.

68.- Jugando con los ajustes de control.

Antes de comenzar con el tema de afinamiento de las velas, es necesario recordar los efectos que cada uno de ellos ejerce sobre la forma. Cada ajuste además afecta a otros ajustes, por lo que podemos afirmar que interactúan, prolongando de esta manera nuestro trabajo de encontrar la forma requerida.

La mejor forma de aprender como funcionan es hacerlo con una vela envergada en mástil y botavara expuesta a un viento que no cambie dentro de lo posible, e ir verificando en el acto los efectos de cada ajuste.

Otro sistema, extraño por cierto, y si es que el tamaño de la embarcación lo permite, es con el mástil horizontal en un ambiente sin viento. Con este sistema se puede tomar medidas y dimensiones sin problema.

68.1.-Ajustes que modifican los bordes de la vela.

Sobre el gratil actúan directamente **la driza**, y **el cunningham** que en algunas velas se aplica en un ollao ubicado un poco más alto en el puño de amura. Es un aparejo que da tensión al gratil la vela, normalmente instalado para el foque por el interior del casco.

En el mástil de la mayor algunas embarcaciones cuentan con una corredera vertical donde el gooseneck se fija al mástil. Desempeña la misma función.

Si tenso el cunningham, muevo la profundidad de la vela hacia proa, y aumento el ángulo de ataque de la vela. Como efecto secundario, aplana el tercio inferior de la vela, y según el corte aumento la profundidad de la zona alta. En la vela mayor un exceso de cazado del cunningham sirve para achicar la superficie útil de la vela, es decir para quitar potencia. Esconde una parte del paño detrás del mástil.

Sobre la baluma del foque actúa directamente **la escota** y la posición del carro por donde pasa la escota.

El leech line, es una cuerda de poco diámetro emplazada en el interior de la baluma, que controla la tensión del borde de la baluma y elimina el flameo del borde de la vela.

Un exceso de tensión del leech line provoca una curvatura en la baluma que interfiere la limpia salida del flujo de aire. La falta de tensión una baluma vencida provoca flameo.

Sobre la baluma de la vela mayor

El **vang** actúa a través de la botavara (boom en inglés). La mayor tensión provoca el descenso del extremo libre, pivotando en el goosneck fijo en el mástil. Muchos veleros emplean amantillo, que es cabo que une el tope del mástil con el extremo de la botavara. Evita que la botavara descienda más allá de una determinada posición, o bien mantiene la distancia entre el tope del mástil y punta de botavara. Esto permite fijar un twist determinado.

El **estay de popa** permite abrir la baluma cuando es sometido a tensión.

El **outhaul** desplaza la baluma hacia el mástil, disminuyendo la cuerda de la vela.

Si tenso la baluma, aumento la profundidad, y muevo la posición de la profundidad hacia popa. Eventualmente en velas deformadas con sables muy rígidos, provoca una arruga en todo el alto en la zona interior de los sables. Como efecto secundario, elimino el twist. Obviamente soltando la tensión consigo los efectos contrarios.

Sobre el pujamen.

En la mayor actúa el outhaul que es el aparejo que mueve el puño de escota a través de la botavara. La función principal es dar más profundidad a la vela principalmente en la parte baja. Al tensar el outhaul se consigue el efecto contrario. Un efecto poco deseado ocurre cuando se fija la posición del puño de escota con el outhaul muy tenso y posteriormente se deforma el mástil hacia proa (pre bend): Suele aparecer una arruga desde el puño de amura hasta la zona media del mástil que divide la profun-

didad de la vela en dos. Por esa razón es que cuando se desea aplanar en exceso ese tercio bajo de la vela, se debe tensar el outhaul y el cunningham.

68.2.-El peligroso boomvang.

La función básica del vang de la botavara o boomvang es fijar la inclinación o la altura de la parte posterior de la botavara.

El vang fija verticalmente la posición de la botavara para que la vela pueda pivotar o girar en torno al mástil como una verdadera puerta, con una forma definida.

Al tensar el boomvang estamos aumentando la distancia entre el tope del mástil y la parte posterior de la botavara.

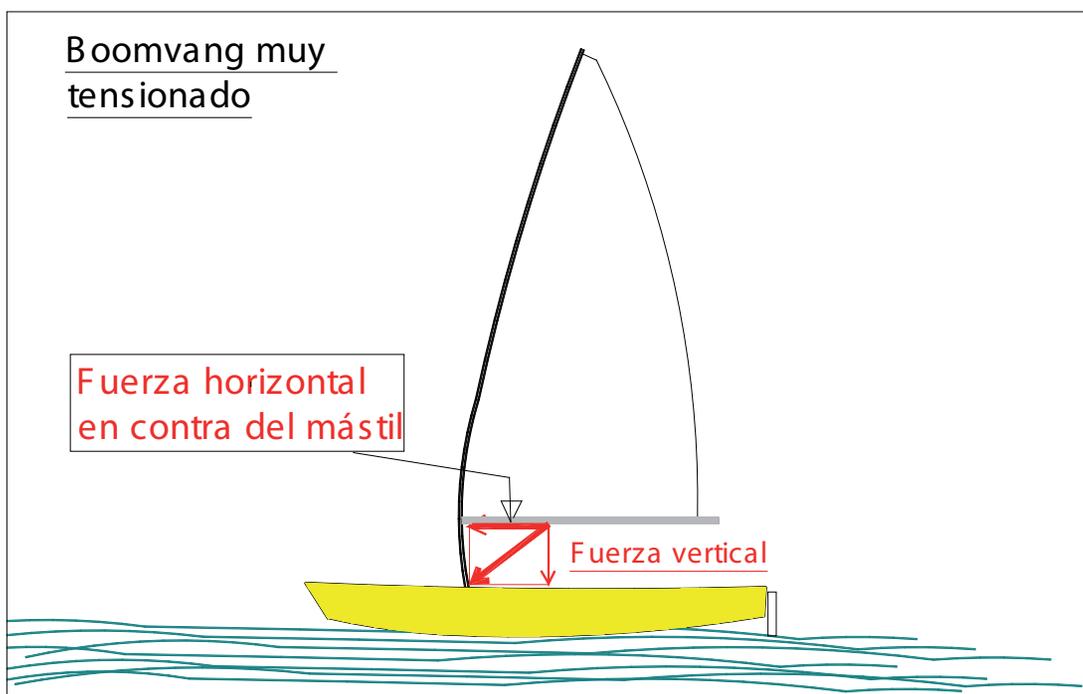
Una vela que tiene una botavara sin un sistema que retenga su movimiento vertical cuando el viento la presiona, transforma a la vela en una sección de un cono cuyo vértice es el encuentro entre mástil y botavara.

La foto siguiente muestra un Pirata empopando sin el emplear vang en la mayor. Como se puede apreciar la distancia entre los topes ha disminuido; “disminuyó el diámetro del cono”, y la profundidad en el sentido de las cuerdas desaparece casi por completo.



Si la botavara y mástil fueran del mismo largo, la vela tendría la forma de un cono cortado por su diámetro.

El croquis siguiente muestra el boomvang pivotante que une la base del mástil y la botavara. Al darle tensión, junto con tirar la botavara hacia abajo, actúa en contra del mástil, provocando la deformación que se ha exagerado en el dibujo.



Los ajustes del vang provocan sobre la vela los siguientes efectos:

Tensando el vang en ceñida ocurre lo siguiente:

- Aumenta la profundidad en el sentido de la cuerda
- Cierra la baluma s y elimina el twist
- Retrasa la máxima profundidad hacia el borde de fuga.
- Disminuye el ángulo de ataque.
- Deforma la parte baja del mástil hacia adelante.
- Provoca una fea arruga vertical en la parte interior de los sables
- Tensa el estay de proa.
- Favorece el abatimiento y el arrastre
- Necesita un timonel muy atento.
- Mejora la potencia de la vela por barlovento.

Soltando el vang ocurre lo siguiente:

- Se levanta el puño de escota y aumenta el twist,
- Disminuye la profundidad de la vela
- Adelanta la posición de máxima profundidad,
- Si no existe estay de popa, afloja la tensión de estay de proa.

De poco sirve ajustar las velas si no tomamos la precaución de usar correctamente el vang.

El uso del vang es útil para evitar que la botavara se levante cuando navegamos empopados y la vela actúe como amortiguador y para cuando deseamos mantener una mayor superficie. De hecho fue inventado para esa función en la empopada.

Para ceñir y hasta el través, la posición del vang debe definirse exactamente y marcar su punto exacto para la forma escogida para la vela. Si la posición no es exacta, de acuerdo a lo que hemos visto, provocará problemas. Nuestras velas no funcionarán y seremos los mejores espectadores de la regata, mirando como toda la flota llega a la meta, desde la cola.

68.3.- La corredera o traveller de la mayor

Es un riel por donde se desliza de banda el comando de la escota de la mayor. Cuando se navega con la botavara sobre la corredera (ciñendo), esta fija el movimiento de los pequeños ajustes en rumbo de ceñida manteniendo la forma de la vela. En rumbos más abiertos, esa función la asume la escota de la mayor y el vang.

Algunos autores recomiendan las siguientes posiciones:

Con vientos medios, entre 5 a 12 nudos y la vela con twist, la posición debe estar cerca de la crujía.

Con vientos fuertes, la corredera debe estar abierta y puede emplearse para tensar la baluma y fijar la posición con el vang hasta donde la capacidad de adrizamiento lo permita.

Con vientos muy suaves, la posición del carro debe ubicarse entre los extremos de sotavento.

Los comentarios caen en lo indicado a las recetas.

Cuando navegamos ciñendo, la posición de la botavara la acercamos a la crujía empleando normalmente la escota. En esa posición, la escota actúa más hacia abajo que horizontalmente. Esta componente de la tensión de la escota hacia abajo modifica la forma de la vela. Esta fuerza se suma o actúa como vang incorporando los efectos mencionados.

De esa forma cerramos la baluma y eliminamos el twist o se modifica la forma definida para ese viento. Lo ideal es mover la vela horizontalmente sin emplear fuerzas hacia abajo.

Muchos navegantes, que no tienen la posibilidad de emplear amantillo, que resuelve este problema, han ideado sistemas, como los de la foto siguiente, para mover la botavara en sentido horizontal eliminando o disminuyéndola fuerza vertical de la escota. La fórmula ideal es levantar el comando inferior de la escota hasta un punto muy cercano a la botavara.

En este caso el ajuste de trimado se hace moviendo el triángulo.

Muchas veces en una ceñida con viento fuerte no podemos adrizar la embarcación aun con todo en cuerpo afuera. Llevamos la escota muy cazada, y por lo tanto con la baluma cerrada eliminando el twist que nos permitiría algún alivio. Ese comando arriba nos permite llevar la botavara hasta más allá de la crujía y mantener el twist.



En la foto vemos a unos navegantes de un Pirata, que no tengo el agrado de conocerlos, pero que generosamente nos muestran una estructura de aluminio que reemplaza al carro de la corredera, que es un sistema para evitar la fuerza que la escota ejerce hacia abajo cuando se intenta acercarla a la crujía del bote.

El otro sistema, que evita la componente vertical de la fuerza de la escota de la botavara, es emplear un amantillo que una la botavara con el tope del mástil. Es empleado normalmente para mantener la posición de la botavara, o como soporte cuando el barco ha llegado a puerto y las velas han sido arriadas, y para mantener un determinado twist con la escota totalmente tensa.

Otros modernos botes, para mantener el ángulo que forma botavara y mástil, emplean una barra rígida emplazada entre la botavara y mástil, pero más arriba del goosneck, con una corredera que permite ajustes. Cumplen la misma función del vang hidráulico tradicional.

Existen al respecto muchos otros sistemas de correderas de formas curvadas, emplazadas sobre cubierta, para evitar que cambie la distancia de la escota al puño, tanto para el foque como para la mayor, a medida que cambia el ángulo de cazado, asegurando la indeformabilidad del proyecto de vela que se necesita.

68.4.- Cunningham

Se emplea en el foque y en la mayor, y como anticipamos su función es tensar el gratil de las velas y mover la mayor profundidad hacia el gratil, y como consecuencia un aumento del ángulo de ataque.

Se emplea con una tensión excesiva cuando el viento es muy fuerte, porque en ceñida las formas con la profundidad muy adelante provocan menos arrastre y menos potencia. Adicionalmente un

exceso de tensión de cunningham esconde gran parte de la vela detrás del mástil evitando que trabaje esa zona en la generación de fuerza.



En la foto destaco el exceso de tensión del cunningham cuyo efecto permite que la parte pegada al mástil, 20 centímetros de ancho por toda la altura del mástil permanezca sin trabajar o aportar a la potencia. La superficie que trabaja se disminuye en 1 metro cuadrado aproximadamente.

Cuando se curva el mástil por mayor tensión en el vang de la mayor, se emplea el cunningham para mantener la profundidad más adelante.

Se emplea con pequeña tensión para eliminar arrugas que nacen del outhaul o cuando el arqueado del mástil es excesivo

La parte baja de la vela siempre debe tener más bolsa que las partes altas, porque el viento abajo es menor y es una forma de ganar potencia. El cunningham muy tenso aplana esa zona y elimina la potencia que esa zona genera.

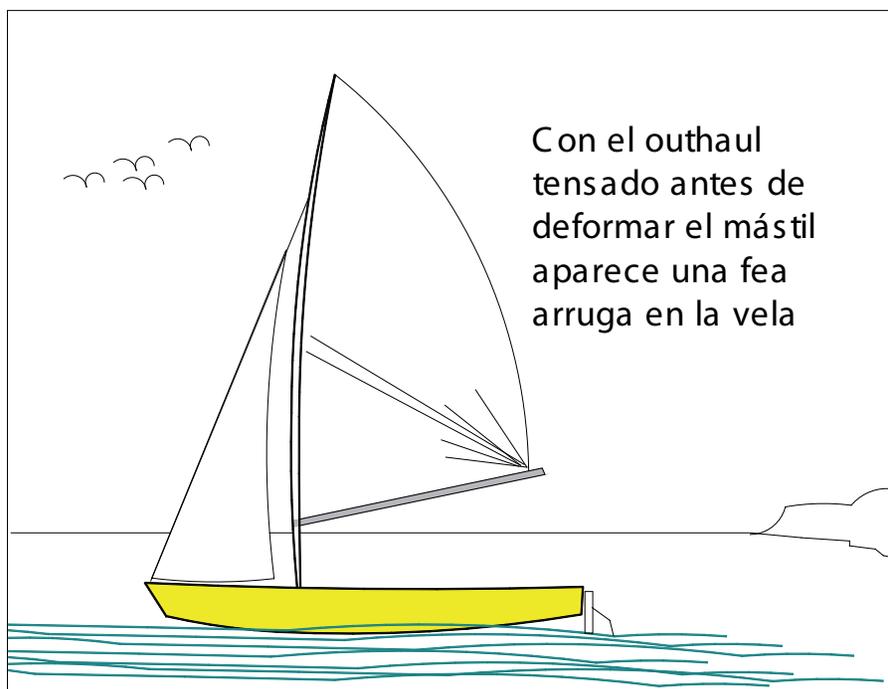
El cunningham es un ajuste de control que no debe tocarse en ceñida para vientos suaves y medios, salvo con fines estéticos.

Erróneamente algunos libros indican que en ceñida el cunningham debe ir muy tensado porque de esa forma se traslada el centro de empuje hacia delante y la fuerza generada mejora la componente en el sentido del movimiento. Esta opinión está influenciada por aquellas erradas teorías copiadas de las alas de los aviones que muestran que la sustentación se genera en la parte delantera de los perfiles aerodinámicos como las alas de aviones. En eso tienen razón, porque esa es la única parte de un ala de avión a gran velocidad que genera algo de sustentación, porque hacia atrás desaparece y es reemplazada por vacío.

A la velocidad del viento en que un velero navega, aun con vientos fuertes, el flujo de aire se mantiene adherido a sotavento y genera sustentación en las zonas en que la vela provoca un cambio en el rumbo del viento, o sea en toda la cara de sotavento. Si se traslada la mayor profundidad adelante, esa zona genera sustentación como la entendemos en navegación y hacia atrás será mínima o nula. Por eso que llevar la máxima profundidad hacia delante es una forma de eliminar potencia, y es útil sólo cuando no nos podemos el bote por exceso de viento, a costa de aumentar el arrastre por sotavento.

68.5.- Outhaul

Su función es regular la longitud de la cuerda en su punto más bajo, o sea dar más profundidad a la vela. El efecto de este ajuste está relacionado al twist. Si la baluma está muy tensa, o sea con poco twist, el efecto se manifiesta en todo el alto de la vela. Se emplea en la empopada para aumentar la profundidad, ganar en potencia y estabilidad, evitando el cabeceo lateral.



68.6.- Comba en el mástil

La mayoría de las velas tienen un gratil curvado. Si se envergan en un mástil recto, el exceso de paño queda en la zona media formando arrugas que afectan el ángulo de ataque.

El mástil se comba intencionalmente para estirar ese exceso de paño y para que todo el alto de la vela tenga un ángulo de ataque que esté de acuerdo a la incidencia del flujo.

El mástil se comba en todo el alto con la ayuda del estay de popa.

En embarcaciones que no cuentan con estay de popa, como el Pirata, el Snipe o el Laser se recurre al vang o a la escota de la mayor en ceñida apretada, pero la deformación o arqueado se logra sólo en la parte más baja como puede apreciarse en la foto siguiente:



Para que se deforme la parte media del mástil, este debe contar con crucetas que formen un ángulo, de modo que cuando tracciona el estay de proa los obenques actúan a través de dichas crucetas para empujar hacia adelante el mástil. Esta maniobra se hace antes de embarcar y se necesita que el foque tenga una relinga de acero que es la que en definitiva trabaja y el estay de proa queda sólo de respeto, separada del foque.

El Laser tiene la parte superior del mástil más flexible que la parte baja y resuelve en parte el problema. Otros emplean mástiles cuyo tercio superior es de sección variable o cónica para lograr el mismo resultado.



La foto muestra a un tripulante en el acto de tensar la relinga de acero de la vela para deformar el mástil y eliminar el sag en busca del ángulo de ataque del foque. Después de esto el estay queda suelto.

En embarcaciones más grandes, la curvatura del mástil se hace a través del estay de popa, y la función de los obenques cortos es mantener fija la parte media del mástil.

70.- Los sables o battens de una vela

Los sables se diferencian por el largo. Los que unen el mástil con la baluma son largos y se llaman fulbaten, (fullbatten) y los más cortos o parciales, son los encargados de dar la forma final a la baluma de una vela que en el alto termina en forma curvada.

Los fulbaten, fueron inventados por los chinos y empleados principalmente por las típicas embarcaciones orientales. Los actuales fulbaten permiten dar la curvatura que se desee a la vela, y según las características pueden modificar la posición de la máxima profundidad.

Son empleados principalmente en velas de Windsurf para mucha velocidad y catamaranes.

También se emplean combinaciones de sables parciales y fulbaten en una misma vela para definir la altura del triángulo superior de una mayor, como en el 470 y en algunos catamaranes.

Estos sables permiten rigidizar la vela para que por efecto de la fuerza de sustentación no se traslade la máxima profundidad hacia popa.

En una vela mayor, la indeformabilidad de las velas significa mayor estabilidad en el equilibrio o balance de fuerzas.

También evita deformaciones en el grátil de una vela mayor cuando el foque envía un flujo con exceso de desviación.

Permite el ataque del flujo con ángulos negativos, que como se indica en el capítulo de ensayos de laboratorio, mejoran la relación Lift/drag, Alzamiento/Arrastre.

Los sables parciales

Con vientos fuertes se emplean sables más rígidos para mantener plana la zona cercana a la

baluma. Con vientos flojos necesitamos recurrir a toda la curvatura del perfil para provocar la máxima desviación del viento, por lo que los sables deben tener la flexibilidad necesaria para mantener la forma curvada de la vela hasta la baluma.

Los sables más adecuados para mantener secciones de vela con forma aerodinámica, son aquellos que de rigidez variable, o sea rígido en un extremo y flexibles en el otro.

Los sables se fabricaron originalmente de maderas flexibles, posteriormente de fibras sintéticas y actualmente de livianas y resistentes fibras de carbono.

71.- Sable ¿ paralelo a la botavara?

Normalmente se ve en instructivos de navegación, que el ajuste perfecto del twist de una vela mayor es aquella en que la posición del sable más alto es paralela a la botavara, para todo tipo de viento. Recomiendan emplear instrumentos para calibrar este paralelismo como el sailscope.

Sería ideal y ahorraría mucho tiempo contar con tan eficaz herramienta para afinar o darle la forma justa a la vela de acuerdo al viento y mar en que navegaremos.

Sin embargo este instructivo no es general, como es lógico, y sólo corresponde a un método para fijar el twist de una vela nueva que funciona sola como la de un Laser, o una vela mayor que está precedida por una genoa al tope del mástil, de una fábrica determinada de velas cuyo diseño fue expresamente hecho con ese fin, para un determinado viento. Aun así no puede considerarse seriamente esta afirmación para todo tipo de mar y viento.

No es una regla general ni definitiva, para velas de otras fábricas y menos aun en velas usadas con algún grado de deformación. Las velas muy usadas tienden a adquirir más bolsa, o formas diferentes a las originales.

Una mayor precedida de una genoa hasta el tope recibe un flujo absolutamente diferente al que recibe una mayor con una génoa o foque fraccionado que cubre solo hasta cierta altura.

Afirmar que la tensión del vang y el twist de una vela dependen del sable superior es un error, salvo que un fabricante serio así lo especifique para una vela y un viento aparente determinado.

La dirección de un sable superior en una vela es sólo una marca más, una referencia para ajuste de las muchas que se necesitan para afinar una vela para determinado viento.

72.- Afinamiento de las velas

Para un mecánico automotriz, afinar un motor es regular la cantidad de combustible y oxígeno para que la explosión provocada por una chispa de bujía genere la mayor expansión del gas con la mínima generación de residuos (humo). Si pone mucho combustible o poco oxígeno el efecto no se consigue y el motor no funciona bien, está descarburado.

El afinamiento de las velas, es el proceso por medio del cual a una vela envergada o una sociedad de velas, se le da la forma justa para que genere la potencia que se necesita con el mínimo de arrastre, para una condición de mar y de viento determinado, en beneficio del rumbo pretendido, sin que se afecte el equilibrio del bote.

Se afina por falta de equilibrio, por velocidad o por potencia y por escora.

Si un bote debe corregir el rumbo con el timón, es porque está mal afinado.

Se supone que un bote con el mástil ubicado en la posición dada por el diseñador, y con las velas de fábrica, no necesita modificaciones para que navegue equilibradamente y a toda velocidad. Esto jamás ocurre, y siempre ya sea por la escora, por la inestabilidad del viento, por el tamaño de las olas, o porque muchas embarcaciones tienen varios juegos de velas y alternativas de uso, tendremos que recurrir a los ajustes.

Un navegante de regatas debe tener más de una opción de forma de vela, foque y mayor para adecuar el afinamiento a las condiciones que se espera tener en la cancha. Velas delgadas o lighth para

poco viento, velas más resistentes para vientos fuertes, y con distinta profundidad, con menor cuerda etcétera, y hasta donde el reglamento lo permita.

Normalmente nos quedamos con la forma de vela que nos entrega un fabricante y lo aceptamos porque tiene un buen prestigio. Sin embargo un mal foque, para las condiciones en que deberá competir, puede acarreamos sólo desastres en el resultado de una regata.

Escogido el juego de velas a usar, pasamos a envergarlas y a afinarlas.

72.1.- Afinamiento para equilibrar:

Ya hemos tratado el tema principal del equilibrio, y determinamos que depende, en primer orden de importancia, si se trata de una embarcación con quillote fijo, de la posición del mástil. En segundo orden de importancia está el efecto de las amuras por excesiva escora.

Resuelto esos temas o asumidos, el pequeño equilibrio final lo completa la posición de la curvatura o posición de la máxima profundidad. Esto establece por barlovento la mayor o menor superficie proyectada a la dirección del viento. Si la vela mantiene una profundidad muy atrás, y el ángulo de incidencia del viento es el correcto respecto al ángulo de ataque, la mayor carga del viento se ubicará más a popa y modificará el equilibrio. Por sotavento, si la curvatura y velocidad del viento permiten la generación de sustentación, ese efecto se verá aumentado y el barco se tornará más ardiente.

El equilibrio también depende del tamaño de las velas empleadas. Una genoa grande puede requerir de una embolsada vela mayor con la profundidad muy retrasada.

72.2.- Afinamiento por velocidad o por potencia

Cuando hablamos de formas de velas, establecimos que una vela logra su máxima potencia para determinado viento cuando se encuentra en su profundidad límite en toda su altura. Si a partir de ese punto comenzamos a aplanar el paño, tendremos menos potencia, menos arrastre, y podemos optar a un menor ángulo de ataque. Una vela en esas condiciones, tiene mejor relación Alzamiento/ Arrastre (L/D), y permite una mayor velocidad.

La conveniencia de escoger determinada profundidad, que es lo mismo que potencia, va a depender de las dificultades que debemos vencer para lograr la mejor velocidad posible. Estas dificultades son: la carga que estamos transportando y el peso de la embarcación, las características del mar, olas corrientes, y de la estabilidad del viento para permitir el trabajo continuo de nuestro proyecto de vela.

Una vela plana será ideal para un bote liviano que entre fácilmente en planeo en un mar plano.

En un mar con oleaje con ese mismo bote es posible que necesitemos más potencia, sin llegar al máximo, para contrarrestar el freno que cada ola nos pone.

Con viento medio e inestable deberemos dar una forma que permita captar viento que oscila en varios grados. No podemos ceñir permanentemente con una vela plana con un apretado ángulo de ataque, porque trabajaría intermitentemente.

En este caso debemos aumentar el ángulo de ataque y optar por un rumbo con menos altura, para disminuir la intermitencia o que la vela trabaje permanentemente. A estas alturas no necesito decirles como aumento el ángulo de ataque.

Con un barco pesado necesitamos potencia. No podemos optar por ángulos cerrados de ceñida porque el abatimiento aumentaría en exceso.

Ahora si la ola está muy grande, lo que necesitamos es más potencia para remontarla, o sea más profundidad, y para volver a tomar velocidad en la bajada.

Los conceptos de vela plana o embolsada, van siempre acompañados de cambios de rumbo y velocidad, sólo una forma, o un perfil de nuestra vela es eficiente para una determinada velocidad de viento, y es útil para nuestro propósito. La tarea permanente es buscarla.

Este concepto se entiende fácilmente si lo comparamos con un automóvil: Si estoy manejando por un camino de tierra, sinuoso y en subida, tengo que usar una marcha más reducida, más lenta pero con más potencia (vela con más profundidad y menor ángulo de ceñida) Si salgo de esa cuesta y tomo ahora un camino pavimentado y horizontal, puedo seguir con esa marcha reforzada y seguir avanzando, pero también puedo usar una marcha con menos potencia y que me permita más velocidad, o sea una vela con menos profundidad que me permite mantener el flujo de aire adherido y ojalá sin turbulencias (arrastre) tal como se indicó anteriormente. Si el camino es recto pero presenta una subida larga, la directa no me servirá y tendré que buscar una marcha más reforzada.

En la partida de una regata, un atento navegante parte con velas más embolsadas, pero con la forma justa, para tener más pique con menos ángulo de ceñida, siempre que tenga espacio a sotavento que le permita caer un poco, para después cuando ha salido del tumulto aplanarlas para tomar más velocidad y mejor ángulo. Hizo lo correcto. En ese caso es fundamental tener las marcas o reglaje de los ajustes de control para resultado que espera de las velas. Los automóviles tienen indicadas las marchas para que no se equivoque. En nuestro velero de regatas también debemos tener esas marcas.

En nuestro velero al igual que en un auto podemos iniciar el movimiento con una marcha equivocada. Partir en tercera o cuarta, equivale a iniciar nuestra navegación con las velas muy planas. Es decir es posible que logremos llegar a la velocidad óptima que la forma de las velas nos permite, pero nos demoraremos mucho más que si partimos con la “marcha” adecuada. Si la partida es en ceñida, las olas estarán en contra. Los que juegan en autos a los “piques” saben de lo que estamos hablando.

Un velero aun con una muy mala incidencia del viento, siempre navega porque fueron inventados para eso. Con una incidencia defectuosa también navega porque la fuerza de acción directa por barlovento, esa fiel aliada, nunca nos abandona. Con una buena incidencia del viento y con la forma que permita la generación de fuerza de sustentación, estaremos navegando en medio de los más veloces de la flota.

Si escogemos inteligentemente el rumbo entre velocidad y abatimiento, seguramente estaremos entre los mejores de la flota. El resto es táctica y saber partir.

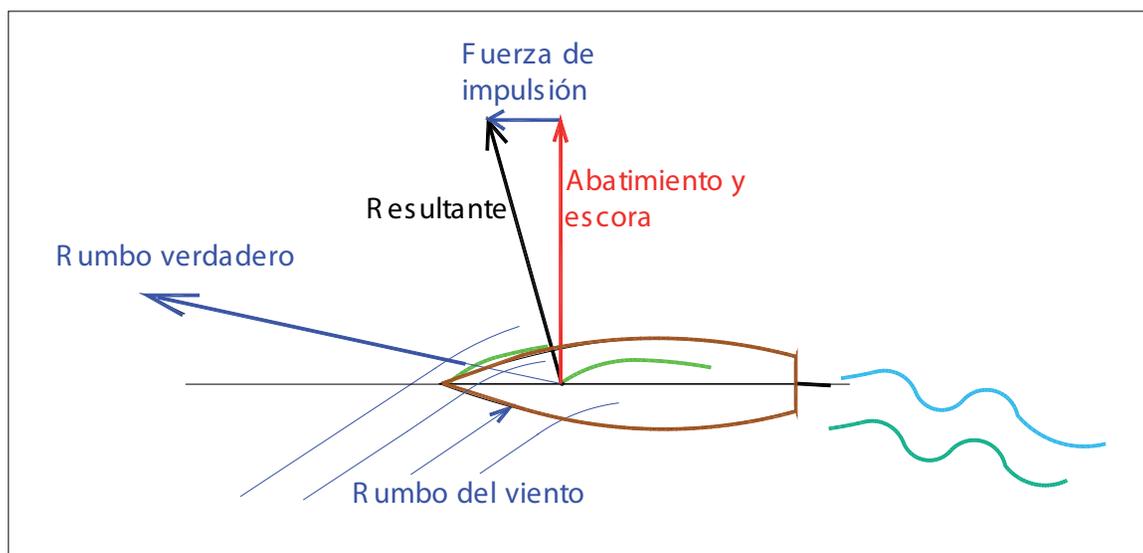
Existe en nuestro medio, especialmente en los grandes yates, la mala costumbre de navegar siempre con la mayor absolutamente plana sin importarles las características del nivel de oleaje. Es una idea errada. Lamentablemente a nuestros especialistas en afinamiento, los trimmer, les cuesta creer que las velas tienen posibilidad de ajustarse a lo que requerimos en determinado minuto.

En “las alturas de Coquimbo” con mi amigo Roberto nos enfrentamos a un yate mucho más veloz que el nuestro, al menos en el papel. Partimos más retrasados que ellos, pero arreglamos las velas dándoles mucha potencia para escalar las enormes olas. Al cabo de media hora ingresamos a la bahía de La Herradura, con una notable ventaja sobre el otro yate que traía las velas muy planas.

72.3.- Afinamiento para evitar escora.

La vela de una embarcación genera una fuerza resultante cuya dirección es casi perpendicular a la cuerda de la vela. Si la cuerda es paralela a la crujía (con la baluma cerrada) la fuerza generada será ejercida en su totalidad en abatimiento y escora.

En una embarcación, tanto la escora y el abatimiento como la fuerza impulsora dependen de la dimensión de las respectivas componentes perpendicular al eje del bote o crujía y en el sentido del rumbo.



73.- Pasos para afinar una embarcación a vela.

Es importante conocer la capacidad del bote con determinado viento, y también darse cuenta cuando el bote no tiene la velocidad de otras embarcaciones, y que algo anda mal. Partiendo de la base que el casco está limpio, que no llevamos bolsas de plástico en el quillote, que no arrastramos una boya con la pala del timón, la solución debe buscarse en las velas; en el motor.

En viajes de crucero siempre hay tiempo para corregir esos pequeños detalles que hacen la diferencia. Metido en medio de una regata el tiempo para corregir es poco y no debe darse ventaja al resto de la flota.

Desarrollar un método, ya pensado con tranquilidad es importante porque ahorra tiempo. Nos situaremos en el momento anterior a una regata en el muelle:

Primer paso:

Ajustar el ángulo de ataque del foque, eliminando el sag. Mayor viento requiere mayor tensión, mayor concentración.

Segundo paso:

Ajustar el twist del foque para acomodar cada sección de la vela al ángulo de incidencia que sabemos cambia con la altura, en los términos ya explicados.

Tercer paso:

Twist de la mayor en concordancia con el twist del foque, para mantener la forma del canal entre las velas.

Cuarto paso:

Dar a la vela la profundidad límite en cada sección de la vela.

Quinto paso:

Angulo de cazado del foque,

Sexto paso:

Angulo de cazado de la mayor.

Séptimo paso:

Salir a navegar para repetir los pasos anteriores. Con la incorporación del movimiento aparece el viento propio y un viento aparente que modifica el twist y la profundidad límite que determinamos mientras estábamos en el muelle.

Una embarcación se afina para vientos y mar navegables. Si el viento es enorme, ¡quédese en el muelle! Pero si estaba navegando y fue sorprendido, busque pronta protección, y achique todo el paño que le permita seguir navegando hacia una zona segura fuera del temporal, que no siempre es la costa.

Algunos navegantes de alta mar opinan diferente. Son de opinión de correr el temporal con todo el paño arriba, ya que sólo la velocidad y la maniobrabilidad permiten sortear escollos. Son los que buscan batir algún histórico record.

La opinión de otros navegantes más prudentes, aconsejan dejar un foque fuerte, o tormentín que soporte tempestades, y tomar un rumbo de ceñida, aun cuando saben que el abatimiento en esas condiciones es excesivo. Jamás ofrecer la popa para que revienten olas y llenen la bañera con agua. En esas condiciones un abatimiento de 45 grados es normal.

Para los que están habituados a navegar en mar abierto, los cuatro cambios de marcha que normalmente ofrece un automóvil probablemente sean pocas. Tienen toda la razón, porque las variables en el mar suelen ser mucho más que las que acá hemos mencionado. Por esa razón los grandes camiones tienen 12 marchas o más opciones, y lo importante es saber ocuparlas. En eso consiste el afinamiento de las velas.

Cuando estamos en presencia de foque y mayor, siempre se recomienda que el ajuste de las velas se inicie por el foque o por la genoa y posteriormente la mayor, porque en gran medida la forma de la mayor dependerá del tipo de flujo que origine el foque.

Individualmente, cada vela tiene un ciclo de ajuste, cuyo fin es darle la forma justa para el fin que pretendemos, entendiendo por tal, si la fuerza va a estar centrada principalmente en la mayor o en la génoa.

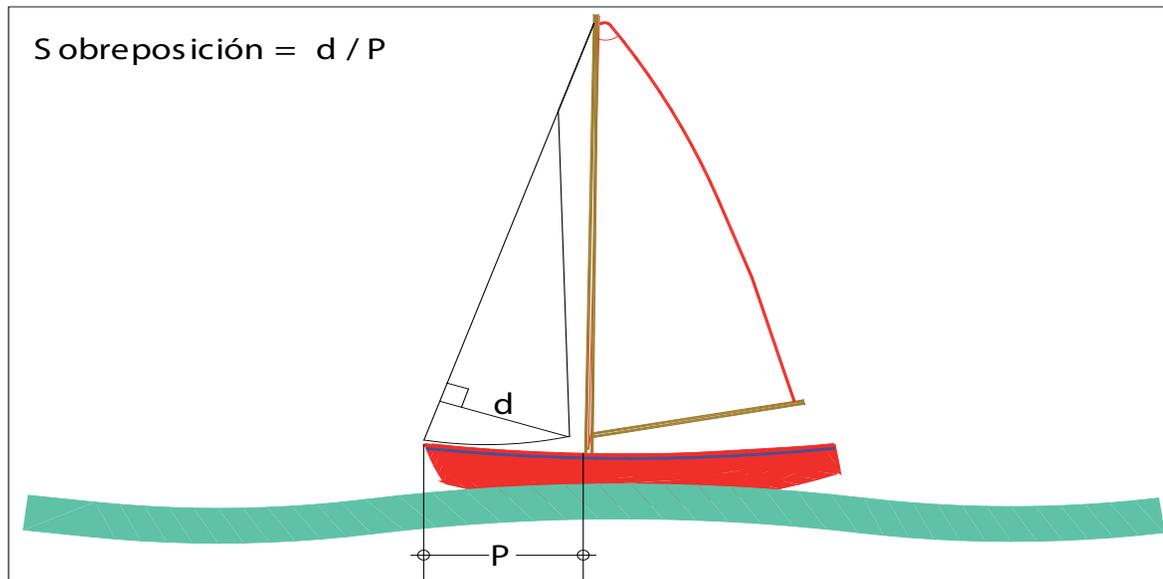
Existen al respecto tantas recetas o caminos para afinar un juego de velas, como autores de textos relacionados con el tema. Algunos parten por el twist y otros por el ángulo de ataque o por la profundidad. Lo importante es que todos los caminos llegan al mismo fin, por lo que usted puede hacer su propio ciclo de ajuste, según sean las velas que dispone, pero siempre partiendo de adelante hacia atrás, por el foque o génoa..

Recordemos que el ajuste en el muelle es solo una aproximación del presunto ajuste definitivo, el que se termina navegando. Sabemos además que nunca un ajuste es definitivo y siempre estaremos modificando “esos pequeños detalles”.

74.- El foque o genoa (foque genovés)

Por definición todas las velas que tienen su puño de amura en la proa se llaman foques. A los foques más grandes se les llama genoa.

Los fabricantes miden la longitud de una genoa por la distancia entre el puño de escota y el gratil en ángulo recto. Esta longitud dividida por la distancia de proa al mástil se denomina **sobreposición o solapamiento**.



En un barco de IOR, la genoa N°1 tiene una sobreposición de 150%, La genoa 2, un 130%, la N° 3, un 105% y un foque, 85 a 90%

La relación de aspecto es también importante en el diseño de génoas. Los fabricantes que usan Mylar-Keblar como material de fabricación aconsejan el empleo en monotipos, que tengan una relación de aspecto máxima = 3. ¿En qué se basan para afirmar eso?

El primer paso, para los que disponen de alternativas, es la elección del foque o genoa. Existen barcos que tienen muchos tipos de foques y génoas.

Cuando se trata de rumbos que no sean la empopada, es necesario considerar dos aspectos: **escora y eficiencia**.

Si se trata de obtener el mejor rendimiento en regata o en travesías, el capitán debe optar por la sobreposición de acuerdo al viento (escora), y a la eficiencia, de modo que no colabora con la formación de tempranas turbulencias.

Existen por lo tanto dos criterios básicos que deben ser considerados para la elección del foque y uno práctico:

A.- Para evitar la escora. Es el más usado y conocido por las publicaciones, basadas en experiencias de otros navegantes de otros botes.

B.- Para lograr eficiencia según el flujo, que de acuerdo a lo que se plantea en estos apuntes, debe ser sin desprendimiento o separación de la capa límite.

C.- existe una elección en regatas basada en la necesidad de lograr ceñidas muy ajustadas. Escoger aquel que permita un menor ángulo de ataque, que es normalmente el de menor sobreposición.

74.A.- Elección de foque según la escora

Algunos textos recomiendan el empleo de la siguiente tabla, sin indicar el tipo de embarcación a la que debe aplicarse:

<u>Viento aparente</u>	<u>genoa a usar</u>
De 4 a 16 nudos	el N° 1 liviana
12 a 21 “	el N° 1 pesada
de 19 a 26 “	N°2

de 24 a 30 “
de 30 a 34 “
de 32 a 38 “

Nº 3
Nº 3 con rizos
Nº 4

En barcos grandes es recomendable pensar en achicar paño cuando esta excede los 18 grados. Pienso que 20 grados es demasiado, pero los textos que he visto coinciden en esta cifra, y la repito sin saber en qué se basan. En los veleros menores de casco redondo, gobernados por tres tripulantes o menos, **la escora superior a 10° disminuye la velocidad en 20%. Esta cifra la entrego como real porque fue medida** en un 470 con un GPS en las planas aguas de la bahía de Caldera. La excepción a esto, ya fue indicada anteriormente, y se emplea para poco viento.

El tamaño de la génoas afecta el equilibrio del barco y por lo tanto la posición del timón. Las génoas grandes tienen un empuje mayor, por lo que en ceñida tenderán a hacer caer al barco. En el mayor de los casos usaremos la vela mayor para equilibrar o disminuir el trabajo del timón, pero a costa de variar el ángulo de escora y aumento del arrastre. Esto se mejora con una genoa de menor sobreposición y con los ajustes que puedan desplazar el centro de presión hacia popa.

74.B.- Elección de acuerdo al flujo de aire.

El mayor freno que el aire pone a nuestro desplazamiento se debe a la formación de turbulencias o vórtices en los costados, extremos y sotavento de nuestras velas. Nunca podremos eliminarlas todas pero al menos podemos disminuirlas. Una de los métodos para atenuar su formación es tener la incidencia adecuada del viento, tener la profundidad adecuada dentro de la profundidad límite. Otra fórmula es hacer llegar el pujamen del foque a la cubierta (deskweeper) y la que estamos indicando en esta oportunidad, por el exceso de cuerda de las velas.

Recordemos que los **flujos en sistemas abiertos son aquellos que se manifiestan en ambientes libres sin límites o fronteras.** En estas condiciones la etapa de transición de laminar a turbulento, se estima que comienza cuando este **número de Reynolds es mayor que 500.000** y se considera completamente **turbulento cuando es superior a 1.000.000.** La separación definitiva de la capa límite o desprendimiento se produce con número de Reynolds cercanos a 2.000.000 y se acelera o se inicia antes si estamos recibiendo viento sucio.

Para determinar la cuerda máxima trazada por el viento al nivel del tripulante **en la génoa emplearemos un $Re = 1.000.000$**

Si deseamos tener algún grado de certeza que tendremos un flujo adherido, bajo condiciones normales del aire, un número adecuado para **la mayor no debería exceder de 1.500.000.-** Nuestro velamen siempre está sujeto a cabeceos que aumentan el viento aparente.

74.B.1.- Para la génoa:

Aplicando la fórmula de Reynolds reducida para condiciones normales, a nivel del mar con 15 ° de temperatura, tendremos que,

$$\text{Veloc. del viento aparente} \times \text{longitud de cuerda} = 1.000.000$$

Viscosidad cinemática del aire

Para simplificar la fórmula anterior y usando una viscosidad cinemática normal:

$$\text{Veloc. del viento en m/s} \times \text{long. de cuerda} = \text{o menor que } 12.5$$

De acuerdo a esto podemos hacer una pequeña tabla para la cuerda máxima de una génoa, con el viento a nivel del tripulante:

Génoa

Veloc del viento aparente Longitud cuerda trazada por el viento

0 m/seg. a 4 m/seg	tamaño máximo disponible
5 m/seg.. = 10 nudos	2,50 metros cuerda
7,5 m/seg = 15 nudos	1,70 metros cuerda
10 m/seg . = 20 nudos	1,25 metros cuerda
15 m/seg . = 30 nudos	0,85 metros cuerda

En un foque con mucho twist o con escora, la cuerda que traza el viento en su recorrido por la superficie de la vela es mayor que la cuerda geométrica medida perpendicularmente al gratil o al mástil.

Es importante agregar que esta fórmula considera el viento a la altura del tripulante que es diferente a la que tiene la vela al tope del mástil. Si emplea instrumentos de medición incorporado al yate, la lectura será probablemente en el tope del mástil, y deberá corregir los valores indicados.

De acuerdo a esto, con 20 nudos de viento aparente, un foque de cuerda máxima 1,25 metros medidos en el sentido del viento tendrá por ambos costados, una capa límite laminar o turbulenta sin separación o desprendimiento, que es lo deseable, sobre toda la superficie de la vela. Sobre 20 nudos, es probable que tengamos el inicio de turbulencias en las secciones bajas del foque.

La elección de una génoa que esté dentro de los límites recomendados, permite un flujo ordenado y sin turbulencias sobre la mayor a partir del cual podremos optar a una fuerza de sustentación máxima.

De acuerdo a esto no siempre es acertado decir que una genoa grande será más eficiente para generar más potencia. Cuando empleamos génoa de gran cuerda, es porque centraremos la mayor fuerza en ella, y la mayor colaborará en aumentar la acción de desviar mayor cantidad en el mayor ángulo con la mínima generación de turbulencias.

74.B.1.- Para la Mayor:

Empleando el mismo sistema tenemos que:

Veloc. del viento aparente x longitud de cuerda = 1.500.000

Viscosidad cinemática del aire

Veloc. del viento en m/s x long. de cuerda = o menor que 19

De acuerdo a esto podemos hacer una pequeña tabla para la cuerda máxima de una génoa, con el viento a nivel del tripulante:

<u>Veloc del viento aparente</u>	<u>Longitud cuerda trazada por el viento</u>
0 m/seg. a 4 m/seg	tamaño máximo disponible
5 m/seg.. = 10 nudos	3,70 metros cuerda
7,5 m/seg = 15 nudos	2,50 metros cuerda
10 m/seg . = 20 nudos	1,90 metros cuerda
15 m/seg . = 30 nudos	1,25 metros cuerda

De acuerdo a esto, con 30 nudos de viento es posible que una vela mayor con la mayor profundidad adelante pueda generar algo de sustentación en la zona pegada al mástil en un ancho de 1,25 metros. Más atrás habrá solo turbulencia por sotavento. Por barlovento siempre tendremos a la fiel aliada, pero con turbulencias hacia la baluma.

75.- Formas de velas en función de la capa límite

Detengámonos un momento a analizar la geometría de una vela triangular basado en las características de la capa límite.

Recordemos que el viento tiene diferencias de velocidad a distintas alturas. Un foque que recibe un viento de 10 nudos en la parte baja, probablemente recibirá uno de 14 o 15 nudos en el tope, dependiendo de la altura.

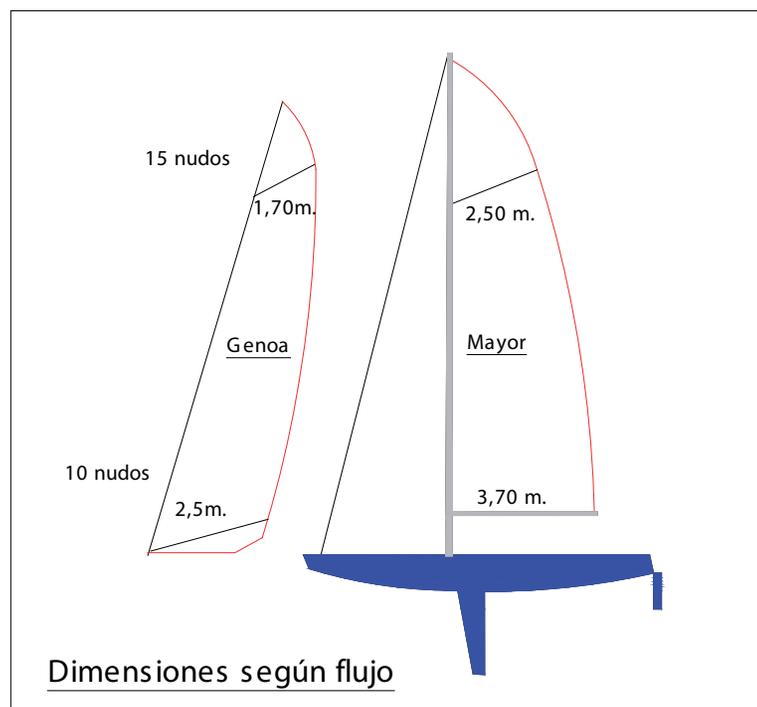
De acuerdo a esto, y sabiendo que con 10 nudos tenemos flujo adherido hasta 3,70 metros de cuerda de una mayor, no tiene sentido disminuir arbitrariamente la cuerda con la altura. Si la parte alta de la vela recibe un viento de 15 nudos, la cuerda de esa sección, en concordancia con el cuadro anterior, debe tener 2,50 metros.

Estas son las dimensiones máximas a las que podemos optar en una ceñida con 10 nudos de viento. Recordemos que el twist o torsión de la vela hace recorrer al flujo en dirección ascendente aumentando el recorrido en cifras superiores a las calculadas o sea los 3,70 metros.

La dimensión de la génoa siempre debe ser menor porque una de sus funciones principales es enviar flujos limpios sobre la mayor, o sea sin turbulencias y estamos en el límite en que por cualquier aumento de viento, ya sea por rachas o por cabeceo el desprendimiento de la capa límite puede iniciarse. Existe además un problema práctico o de operación cuando cambia de amura, y un excesivo traslapo en las partes superiores puede transformarse más en un problema que un beneficio.

Un foque de menor cuerda permite además un mejor ángulo de ceñida.

De acuerdo a estos cuadros para foque y mayor, podemos dibujar un velamen ideal basado en una capa límite adherida, con poca resistencia o arrastre al viento, ideal para una ceñida:



En las dimensiones del foque se han considerado la inclinación y el twist. Si al mástil se le da una mayor caída, la cuerda trazada por el viento aumenta y también aumenta el freno, porque se está disminuyendo la relación efectiva de aspecto.

La terminación en punta que las formas triangulares nos imponen, significa una pérdida del aprovechamiento de captación de energía. Las alargadas formas triangulares superiores son un desperdicio de eficiencia, porque captan poca energía y el mástil genera freno y cabeceo.

En un diseño inteligente, la disminución de la cuerda en los paños superiores, para aprovechar o maximizar la potencia, debe tener relación con la variación que experimenta el viento con la altura.

En vientos flojos esta diferencia con la altura se hace mayor y no responde necesariamente a una función lineal.

¿Qué sentido tiene achicar excesivamente la cuerda de los paños superiores, como son la enorme cantidad de velas que vemos actualmente, si nos queda margen para mantener el flujo adherido con una mayor cuerda?

Es curioso que haya pasado tanto tiempo desde que se conoce la existencia del comportamiento de la capa límite y no se hayan aplicado sus enseñanzas en beneficio del diseño de las velas. Su aplicación con seguridad traerá formas diferentes de las triangulares.

La forma definitiva de las futuras velas, para aprovechar el principio de la separación de la capa límite, debe tener relación con la gradiente del viento en función de la altura, más que con una caprichosa forma triangular.

76.- La falda del foque (decksweeper)

Antiguas formas de foque dejaban un espacio entre la cubierta y el pujamen. Esta forma de foque es ineficiente porque permite que el flujo de aire que desvía el foque por barlovento se dirija hacia sotavento formando un vórtice que se prolonga hacia popa como la cola de un volantín, que actúa como un eficiente freno.

Modernas formas de foque permiten que el pujamen tome contacto con la cubierta. Es el barredero de cubierta o decksweeper. Como su nombre lo indica, corresponde a foques o genoas que tienen un diseño en el pujamen de forma que normalmente en ceñidas esté en contacto con la cubierta. Este diseño mejora notablemente el rendimiento del foque y reduce la generación del vórtice inferior.

La explicación es sencilla. Por el costado de barlovento del foque el flujo actúa presionando la superficie. Por el lado de sotavento el flujo de aire succiona o tracciona la superficie de la vela con distinta fuerza a la de barlovento. Estas zonas de distinta condición están divididas por la vela. En la parte baja de un foque que no está en contacto con la cubierta, los flujos de aire se conectan provocándose un remolino o vórtice que se prolongan más allá del puño de escota. La forma de evitar ese freno es precisamente evitar hasta donde sea posible el encuentro de flujos de distinta presión.



En esta foto del Alinghi se aprecia que el pujamen está completamente en contacto con la cubierta para evitar el freno inducido por la vela en la parte baja.

Este perjudicial fenómeno que ocurre en el pujamen también se produce en la botavara de la mayor.

Antiguamente cuando detectaron este fenómeno idearon una botavara como una placa horizontal en que cada punto de unión del pujamen estaba premunido de un pequeño carro que se desplazaba por un riel transversal emplazado en esa botavara plana. En su libro, Manfred Curry informó que el sistema disminuyó el arrastre, pero con las uniones fijas era una dificultad modificar la profundidad de la vela.

Hoy las velas traen en el pujamen un exceso de tela, normalmente más delgada que la empleada en el resto de la vela, cuya función específica es ensanchar artificialmente la botavara para hacer más difícil la formación de vórtices. Muchos piensan que las botavaras flexibles mejoran el rendimiento de la vela. Eso podría ser efectivo sólo en la empopada, por el aumento de la superficie expuesta al viento, pero es tan poco el valor en que mejora, que es preferible concentrar el esfuerzo en otro tipo de ajuste.

Algunas embarcaciones de clase tienen focos con una relinga libre de acero que es aproximadamente 30 centímetros más larga que el gratil de la vela, que permite ajustar la altura de la vela respecto a la cubierta.

Izado el foque, y fijada la driza con regular tensión, se debe verificar que la posición del puño de amura quede en posición tal que la falda del pujamen barra la cubierta sin necesidad que el puño tenga demasiada tensión.

La función de la relinga libre de acero es fijar la posición del mástil reemplazando en esta función al estay de proa, de forma de obtener en ceñida un gratil absolutamente recto, quedando el estay permanente de la embarcación suelto, sin trabajar.

Otros focos traen sistemas de ganchos para unir el gratil del foque con el estay de proa, que es el más común, y es tarea del capitán determinar la tensión del estay y del gratil del foque para obtener la posición requerida sin afectar la forma de fábrica del foque en la zona de ataque.

77.- El foque en sociedad.

La forma del foque depende de la función que desempeña en la sociedad foque-mayor. Se nos presentan dos casos:

77.1.- Potencia centrada en la mayor

77.2.- Potencia centrada en la genoa

77.1.- Potencia centrada en la mayor

Si la potencia se centra en la mayor, que es el más común en los botes livianos de clase Lightning y Pirata, lo que más importa es enviar un flujo limpio sobre la mayor, aun cuando perdamos algo de potencia en el foque, para que se genere la sustentación por sotavento de la mayor. Si el flujo sale del foque con turbulencias, la sustentación en la mayor difícilmente se formará.

Eso se logra con un foque más plano que con mucha profundidad, que presente una curvatura suave cercana al 50% y una salida más plana que curvada. Con una profundidad muy adelantada se corre el riesgo de provocar separación del flujo por sotavento en la zona de máxima profundidad.

El flujo sale limpio del foque por ambos costados cuando las lanas emplazadas cerca de la baluma así lo indican.

En el foque, que no tiene la interferencia de un mástil, con un flujo que accede correctamente o sea tangente a la curvatura del gratil, la separación por sotavento se produce normalmente a partir de la zona de máxima profundidad. Ahí hacia atrás debe centrarse en forma permanente nuestra atención.

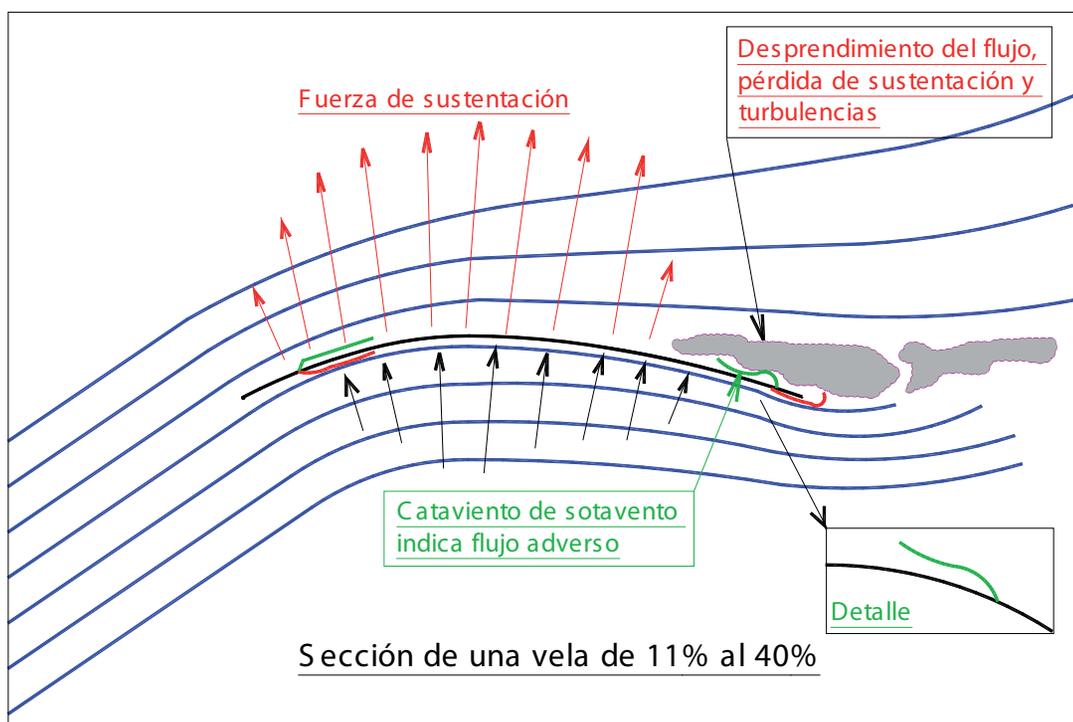
Tendremos la forma justa y por la tanto buena potencia en nuestra vela, si todas las lanas están trabajando horizontalmente, sin embargo nuestra principal atención debe centrarse en las lanas de sotavento, o sea en el lado que no se ve, especialmente las que se encuentran en la zona posterior o dispuestas cerca del borde de fuga.

Si esas lanas por sotavento nos están indicando que el flujo pasa horizontalmente, es que estamos en presencia de una buena forma del foque, y estamos asegurando además que el flujo que recibirá la mayor por sotavento será un flujo limpio sin turbulencias. Si eso no ocurre, no sólo estaremos desperdiciando una parte importante de fuerza impulsora, sino que además estaremos aplicando al mismo tiempo el mejor de los frenos, no tan solo al foque sino también en la mayor, y modificando el equilibrio del bote. De ahí deriva la enorme importancia de dar al foque la forma justa, **en toda la altura de la vela** privilegiando la salida limpia del flujo sobre la mayor.

En las velas sólo existe la pasión y el odio. Si una vela no está generando potencia es porque está aportando freno. No hay puntos intermedios.

Si con los ajustes obtenemos una buena forma de vela, inmediatamente vamos a adquirir más velocidad, también estamos frente a un nuevo aparente, lo que en teoría tendríamos que seguir afinando siempre. En la práctica siempre debemos estar jugando con los ajustes hasta lograr el mejor promedio.

Las lanas dispuestas en el gratil son las que más fácilmente observa el timonel y son de gran ayuda para el timonel. Normalmente nos enseñan que el timonel debe gobernar fijándose sólo en la posición de ellas y agregando que ojalá la de barlovento tienda a buscar la vertical, pero manteniéndose la mayor parte del tiempo en posición horizontal. **Esto indica solamente que la incidencia del viento es el adecuado. La tarea permanente del timonel y del encargado del afinamiento y trimado debe ser que todas las lanas deben funcionar en el sentido horizontal, especialmente las de sotavento que nos muestran la salida del flujo por la baluma, en todo el alto de la vela.**



El croquis trata de graficar la forma en que las líneas de viento que pasan por sotavento se desprenden de la superficie, de la vela y provocan un vacío que es equilibrado principalmente por las líneas de viento que están comprimidas en el borde de fuga de barlovento, creando un desorden y turbulencias y un flujo de dirección adversa al flujo general, en la zona cercana a la superficie de sotavento de la vela.

La posición del timonel le impide ver la lana o cataviento más importante, que le está avisando la separación del flujo.

Pero, ¿cómo se puede comprobar que la forma de la vela es la adecuada?

La respuesta está en un brusco viraje por delante: **Al momento de iniciar la maniobra, todo el alto de la vela debe desventarse al mismo tiempo.**

Si eso no ocurre, la tarea no se ha terminado. La forma de la mayor depende del tipo de flujo que el foque le envíe. Si del inicio el afinamiento parte mal, el resto será un desastre. Por tal razón es recomendable no seguir con el afinamiento de la mayor hasta lograr que el foque quede perfecto.

77.2.- Potencia centrada en la genoa.

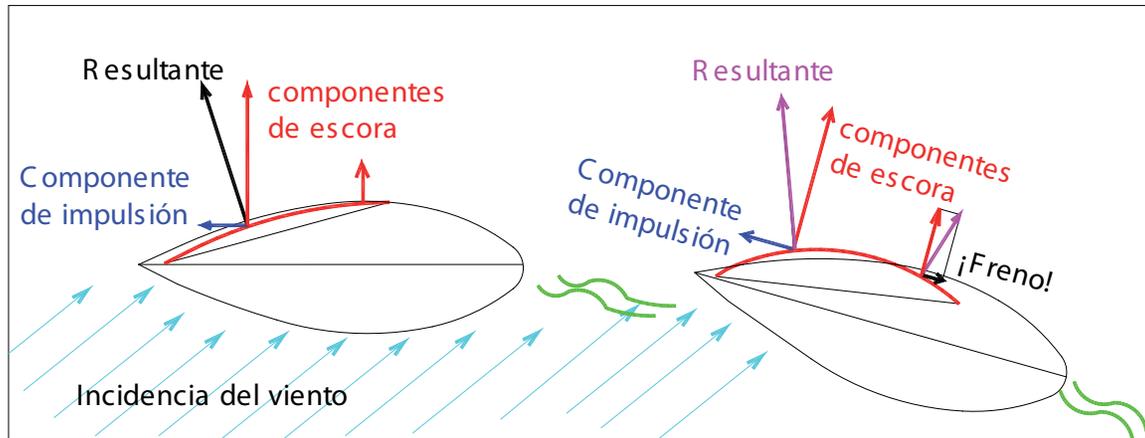
Es el caso de un J-24 y de un 470.

La genoa no tiene un mástil que perturbe la entrada del flujo. La preocupación en este caso es encontrar la forma para que genere la potencia que se necesita según sean las condiciones en que se navega.

La vela mayor, en este caso, tiene básicamente tres funciones complementarias: 1.- La de equilibrar de la embarcación, 2.- La de mejorar la sustentación de sotavento de la genoa, y 3.- La de generar potencia.

Si la embarcación con genoa tiende a caer, la tarea de la mayor es contrapesar esta tendencia. Lamentablemente esta función genera fuerzas que van más en beneficio de la escora que en potencia útil en el sentido del movimiento. La solución es dar más caída al mástil o achicar la genoa y permitir que la generación de fuerzas de la mayor vaya en beneficio del rumbo. Ahora si la genoa funciona sin provocar desequilibrios, la mayor está demás.

El empleo de genoas de gran cuerda en ceñida suele provocar problemas de mayor arrastre por generación de fuerzas negativas en la parte posterior del paño, como grafica el croquis siguiente:



Una genoa de menor cuerda, como el primer bote, permite mejor ángulo de ceñida, la generación de fuerzas en el sentido del movimiento, y menos escora.

El segundo bote del croquis no logra mejorar el ángulo de ataque, lo que obliga a un rumbo más caído a sotavento y con generación de freno. Para disminuir tales efectos tiene la alternativa de aumentar el twist, que es lo mismo que achicar la superficie expuesta para la generación de fuerzas. La componente del abatimiento es mayor que la de impulsión.

En el croquis no se dibujó la vela mayor, cuyo efecto en el segundo bote aumenta los problemas de escora y tendencia a orzar.

Busque usted estas características entre la flota y verá que los encontrará siempre entre los más rezagados.

80.- Posición de máxima profundidad en el foque

¡Qué terrible problema!

Los foques vienen de fábrica, como vienen, y ajustamos nuestro mejor rumbo según eso, pero...

Hablaremos del foque para rumbos de ceñida o a la cuadra, por cuanto ya dijimos que en rumbo empopado se debe optar por una forma embolsada o con mucha profundidad, sin descuidar el área o superficie expuesta al viento.

Si observamos a los grandes yates de Copa América, podríamos decir que ellos prefieren ubicar la mayor profundidad siguiendo las formas aeronáuticas, es decir, profundidad al 35% y muy plana hacia popa.



Foto del Manutara, avión que unió el continente americano con Isla de Pascua.

Sabemos que la ubicación de la máxima profundidad de ese perfil, genera un gran ángulo de ataque y por lo tanto también se limita la posibilidad de una ceñida apretada o con un cerrado ángulo de navegación.

Por lo que hemos visto esta forma genera un mayor arrastre o freno que una forma con la profundidad más retrasada. Se puede agregar además, diciendo que un foque de gran cuerda con esa forma envía un flujo turbulento sobre sotavento de la mayor perjudicando la formación de la fuerza e sustentación.

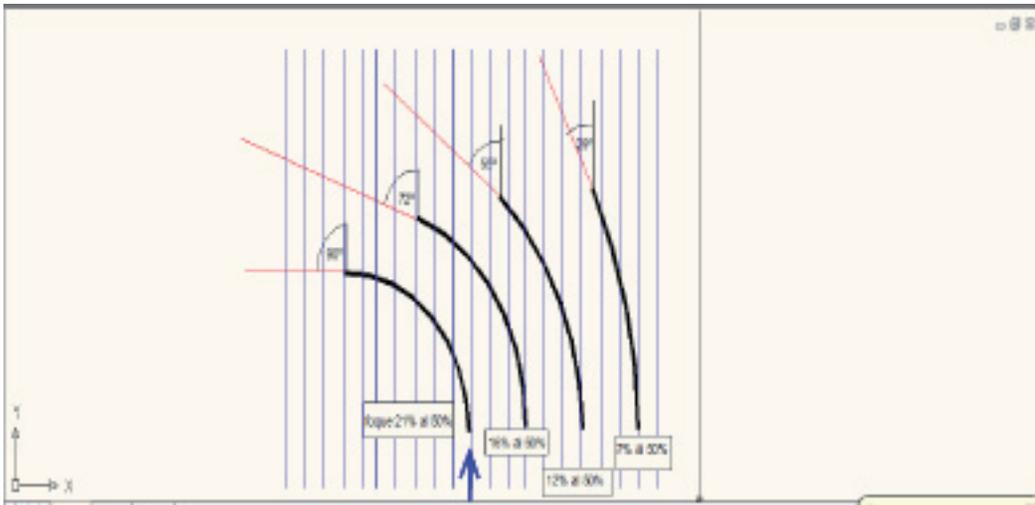
El análisis no es sencillo y para llegar a saber más de cómo nos afecta una determinada forma de foque, referida a la profundidad, recurriremos a unos sencillos dibujos. En ellos se muestran tres tipos de foque con la profundidad ubicada al 50%.

Se debe considerar el rumbo del viento aparente, que es aquel en que navegamos, la profundidad del foque y el borde de fuga. Para este análisis se considera un foque sólo sin una mayor. La sociedad foque mayor se analizará más adelante. Sin embargo adelantaremos que el borde de fuga o la dirección del flujo que abandona el foque después de haber sido desviado, debe ser tangente a la vela mayor en la zona de encuentro.

La posición de la profundidad de la mayor, como consecuencia de esto es un tema que veremos más adelante, pero anticipo que con la profundidad muy adelante estamos limitados a optar a un buen afinamiento y a una ceñida apretada o con buen ángulo.

En el croquis siguiente, se ven líneas verticales que corresponden al trazado del viento aparente. Los perfiles que se muestran tienen distintas profundidades al 50%. Las líneas rojas establecen el ángulo de la salida del flujo por la baluma, respecto al viento aparente. Se supone que todos los perfiles mostrados, cada cual con distinto ángulo de ataque, presentan una buena posición respecto al ingreso del flujo.

color



Las líneas verticales y azules, indican el rumbo el viento aparente.

Las líneas rojas, la dirección del flujo desviado por el foque, al menos por barlovento, ya que sabemos que por sotavento se puede producir la separación del flujo.

Si navegamos sólo con el foque, o con una vela como las mostradas en el croquis, podemos optar a rumbos perpendiculares a las líneas rojas.

De este croquis podemos concluir que si la necesidad de navegación es una cerrada ceñida con un foque al 50% de profundidad, deberemos tener un foque como el del ejemplo mostrado: 7% al 50%, que nos permite ceñir con un ángulo de 29° respecto al viento aparente.

Si la mala fortuna te regala un foque de 16% o de 12% al 50%, jamás podrás optar a una ceñida mejor que al 55% del viento aparente.

La realidad nos muestra que existen focos de fábrica que nos presentan ángulos de ataque que nos limitan una buena ceñida, especialmente aquellos que siguen imitando perfiles empleados en la aeronavegación, como el de la foto anterior.

En regata:

La experiencia de navegar en una regata con un mal diseño de foque es desastrosa. Si pretendemos ceñir más arriba que las posibilidades geométricas del foque que disponemos, es normal que tensemos al máximo la escota del foque, “más allá que la línea roja del croquis anterior”. La mayor, que por desgracia tiene también la mayor profundidad muy adelantada, se desventará en la primera parte, cercana al mástil. Quien tiene la responsabilidad de la mayor...¿Qué hace?: Tensa también la escota de la mayor hasta que el desventé desaparece. ¿Qué ha sucedido? La mayor se ve hermosa y sin arrugas, pero la incidencia correcta del flujo ha desaparecido. Se ha generado un freno horroroso. Miramos perplejos como otros botes que disponen de velas más planas nos pasan con facilidad y encima con un mejor ángulo de ceñida.

Esto explica claramente el errado concepto de ceñir siempre con la mayor absolutamente plana, independientemente del tipo de condición de la cancha en que se navega. Se está optando al mal menor.

Los monotipos que cuentan con mástiles flexibles en estas condiciones, lo deforman o lo flectan todo lo que pueden, porque junto con mejorar el ángulo de ceñida disminuyen la profundidad en la primera parte de la vela.

Frente a todo esto, la solución es tener una vela “Frankenstein” o de profundidad al 50% o al 60%, o sea con muy poca profundidad en la zona pegada al mástil de modo que con un adecuado foque, de poca profundidad al 50% puedas optar a evitar el sobrecizado o trimado en exceso de la mayor, y por lo tanto a menor freno, con un buen ángulo de ceñida y con lo que todos deseamos: **!!! velocidad!!!**

82.-Ángulo de ataque en función de las condiciones

Como se habrá notado, no soy partidario de tabular los ajustes en función de las condiciones en que tenemos que navegar, porque todos los veleros y velas son diferentes, así como nuestras capacidades para soportar la carga del viento y el grado de concentración. El afinamiento para un yate grande es diferente al afinamiento de uno pequeño, porque una misma ola grande para un barco chico puede ser pequeña para uno grande. Esa ola frena más al pequeño que al grande.

Sin embargo a veces las pequeñas recetas sirven de ayuda para los que se inician, o para iniciar el afinamiento.

En una ceñida, achicar el ángulo de ataque es preferible para:

- Condiciones ideales,
- Vientos medios estables
- Aguas planas,
- Cuando el timonel es experto y atento,
- Cuando la idea es apuntar más.
- Cuando se puede manejar la escora.
- Cuando el bote no tiene exceso de carga.

Es conveniente disponer un mayor ángulo de ataque, cuando se presentan las siguientes condiciones:

- Viento fuerte,
- Muy poco viento
- Cuando el viento está muy inestable en dirección e intensidad.
- Con mar gruesa.
- Con ola choppy.
- Cuando el timonel no es experto.
- Cuando hay exceso de carga.
- Cuando se privilegia la potencia en desmedro de apuntar.
- Para partir de cero velocidad.
- Cuando existe mucha corriente.

Nuestros grandes amigos pirateros valdivianos se caracterizan por no sobreceñir sus embarcaciones, y buscan siempre velocidad, primero porque navegan en un precioso río con corriente y segundo porque en Valdivia se hace una exquisita cerveza que afecta los kilos corporales... Con más peso a bordo necesitamos concentrar toda la energía disponible en movimiento, porque un gran arrastre ya lo tenemos.

- Con mar plano, vela plana y concentración en los catavientos.
- Con mar gruesa y poco viento, suelte todo y mantenga la escota en la mano.
- Con viento fuerte achique paño o potencia.
- Con viento fuerte y olas, prepárese para cualquier cosa

83.- Los catavientos (tell tail)

Desearíamos ver la forma en que pasa el viento por nuestras velas, ver cómo y dónde se forman remolinos, la forma de los vórtices que se producen bajo la botavara y bajo el pujamen del Foque. Tenemos que conformarnos con los indicadores de la dirección del viento o catavientos.

Son lanitas livianas, o pequeñas cintas de material liviano que se emplea normalmente en spinnaker, de aproximadamente 20 centímetros de largo emplazadas a una distancia de 25 a 30 cm, de la relinga del gratil, en la mitad de la cuerda, y en la baluma, dispuestos en los cuartos de la altura.

Son los sensores de la dirección del viento que pasa cerca de la vela.

Es una comodidad para el timonel que las lanas ubicadas cerca de la baluma tengan un largo que sobrepase el borde de fuga, para poder ver desde barlovento si el flujo de sotavento está saliendo limpio. En ausencia de ellos, y para cumplir el mismo rol que los anteriores, es útil tener catavientos en la baluma coincidiendo con los sables.

Cuando la vela está con la forma justa para un determinado viento, todas las lanas deben estar horizontales, orientadas hacia atrás.

Esta es una condición difícil de lograr, si la vela está fuera del rango de la velocidad para la cual fue fabricada. Sin embargo incluso bajo esas condiciones adversas, ocupando los ajustes se logra tener la mayoría de las lanitas horizontales.

Cuando parte de la vela está afectada por turbulencias, las lanas apuntarán intermitentemente hacia abajo o hacia adelante. Se debe actuar rápidamente para restablecer el flujo.

Si las lanas de barlovento están en buena posición y las de sotavento apuntan hacia la proa, existe exceso de cazado y debes aflojar la escota hasta que todas trabajen. Sin embargo el daño sobre la velocidad ya se ha producido y se debe evitar caer nuevamente a esa situación. Si a pesar de la atención puesta vuelve a ocurrir, es que el viento está muy cambiante o que el rumbo escogido es muy crítico y debe optarse por navegar en un rumbo más bajo, apuntar menos, y fijar la escota al nuevo rumbo.

Si algunas lanas trabajan bien y otras acusan un flujo adverso, revise el twist y la profundidad.

Con mucho cabeceo, que para estos efectos significa cambio oscilante del viento aparente, debemos contentarnos con el promedio de las distintas posiciones.

84.- La vela mayor.

En nuestro medio no existe un supermercado de velas al que se pueda acceder para adquirir entre muchas dimensiones, formas y colores. Generalmente tenemos que conformarnos con las que venían en el bote que compramos.

Si deseamos comprar velas nuevas normalmente debemos recurrir a los representantes de vele-rías extranjeras, pero con las características y diseño que ellos tienen. Es muy difícil que tengan varios tipos de profundidad, para una clase determinada.

Pregunté como cualquier navegante a una fábrica por las características de profundidad, ubicación de la profundidad y alunamiento en el gratil. La respuesta fue inmediata y muy cordial, pero sólo me informaron del precio del modelo que fabricaban.

Nos contaba un instructor español, que ha participado en la preparación de equipos que deben representar España, que cada competidor de la clase Optimist puede optar a elegir 12 tipos de diseño vela. Estas han sido diseñadas para el peso del competidor para el tipo de viento y mar en el que competirán. No me pudo informar sobre las características geométricas y físicas de esas velas, porque las desconocía, “pero eran de diferentes profundidades”.

En algunas clases olímpicas, sólo se preocupan de las dimensiones, o sea de las características geométricas, y poco o nada de la profundidad y menos de ángulos de ataque y de salida, que determinan algunas de las características físicas.

Las velas que tenemos tienen una forma que ha dado el fabricante o la clase, y sólo podemos a través de los ajustes de control modificar esa forma.

La forma que deberemos darle a la mayor dependerá si trabaja sola o es antecedida por un foque o genoa.

Si la vela es única, entonces aplicaremos los conceptos explicados para el foque, o sea buscar la profundidad límite, la posición de esa máxima profundidad, el twist y el ángulo del borde de ataque, etcétera.

Si la mayor es parte del equipo foque- mayor, la forma pasa a depender en gran medida de la forma, dimensión y altura del foque.

84.1.- Envergue de la mayor

El envergue de la mayor debe llevarse a cabo sin necesidad de emplear mayor fuerza que la normal. Si así ocurre quiere decir que las relingas corren sueltas por el canal del mástil y de la botavara. Esto es básico para que los ajustes que eventualmente se apliquen se puedan surtir efecto sin tener que recurrir a otro sistema. Cuando se suelta la driza de la vela, la relinga del gratil debe correr sin problemas por el canal del mástil. Lo mismo en la botavara.

Se fabrican velas con relingas elásticas para que cuando el outhaul o cunningham se afloje, la vela corra por el canal sin necesidad de ayuda externa. Lo mismo con la driza de la mayor. Esto permite darle rápidamente más bolsa a la vela en las empopadas.

Muchas veces sucede que, después de ceñir es necesario por un cambio de rumbo soltar el outhaul para que la vela tome más profundidad, y la vela no se desliza por la botavara. Se recurre, sólo como emergencia a un elástico que une el puño de escota con un punto de la botavara que asegure tensión permanente sobre el pujamen.

La unión de la vela a través del puño de amura en el gosseneck debe ser natural y no forzado de manera que no desfigure la parte baja de la vela. Este “pequeño” detalle puede provocar porfiadas y perjudiciales arrugas en esa parte.

84.2.- Forma de la mayor.

Partiremos suponiendo que ha logrado adquirir una vela mayor con una profundidad cercana al 50%.

Con la vela envergada el paso siguiente es verificar o conocer la forma que el fabricante la ha dado a la vela. Profundidad y posición, ángulo de ataque, etc.

Las fábricas suministran velas de acuerdo al tipo de mástil de la embarcación. Existen mástiles muy flexibles, fácilmente deformables y otro de aluminio o de madera muy rígidos.

Los instructivos alemanes referidos al afinamiento de un Pirata aconsejan dejar una flecha de 3 cm medidos en la parte media. Para algunas velas esa medida es poca y no asegura un ángulo de ataque igual para toda la vela. Debemos saber dar a nuestra vela el ángulo de ataque que deseamos flectando el mástil hasta la justa posición. Las reglas sólo son válidas para quien las determina según el equipo que dispone.

Cada clase especifica normalmente la comba que debe tener el mástil, salvo los nobles Optimist, pero no consideran la forma de la vela. Sólo aseguran que el bote anda mejor.

Está claro que la medida indicada para los Pirata, y las instrucciones en general, dependen de la forma de la vela o del exceso de paño en el gratil que trae la vela de fábrica o del ángulo de ataque que deseamos establecer para optar a determinado rumbo en ceñida.

La posición de la máxima profundidad tiene que ver con el flujo que envía el foque, como si se tratara de una sola vela. Esto obliga a correr la máxima profundidad más a popa, pero sin descuidar la salida limpia del flujo

Los Laser son cuento aparte. La forma de la vela depende en gran medida de la rigidez de las dos diferentes partes del mástil. Ellos siempre deforman el mástil con la tensión de la escota, y principalmente con el vang. De acuerdo a lo que hemos visto, el vang modifica la forma y las características de la vela más que cualquier otro ajuste.

Uno de los efectos del vang es dar mayor comba o curvatura a parte baja del mástil. Ese ajuste quita profundidad en el sentido vertical de la parte baja de la vela, y mueve la profundidad respecto a la cuerda hacia atrás. Pero, la pregunta que se nos ocurre nuevamente es ¿qué efecto es el que persiguen al tensarlo exageradamente? ¿Será acaso que desean reducir el ángulo de ataque de la parte baja de la vela? ¿Quitar profundidad a la parte baja? ¿Equilibrar el timón del bote? ¿Ponerlo más ardiente?

Cada ajuste obedece a una razón, y saber aplicar los ajustes es como saber emplear los cambios en un automóvil.

En una ceñida la vela debe tener un poco más de profundidad en la parte baja, sin superar la profundidad límite, cualquiera sea la condición del viento.

En un rumbo a la cuadra o a un largo debe tener más profundidad para mantener la estabilidad del rumbo, hasta la profundidad límite.

En una empopada franca la profundidad debe aumentar y cerrar la baluma con la ayuda del vang.



Con un mástil demasiado flexible es difícil aplicar los ajustes para lograr la forma deseada. Observe los catavientos de la vela de la foto.

Si la parte alta del mástil es flexible y la baja muy rígida, la mayor tensión del vang se hará sentir en la parte alta y la vela tendrá una forma plana en la parte posterior cercana a la baluma de la vela. En ese caso el cunningham jamás debe emplearse como ajuste para ganar potencia.

Si la parte baja del mástil es muy flexible, es difícil dar con una buena forma de vela, y el equilibrio se verá afectado, dándole trabajo al timón para corregir la tendencia a orzar.

Mi gran amigo Tristán Aicardi (que tempranamente partió a la eternidad) laserista de corazón, con quien compartí maravillosas navegaciones en Bahía Inglesa, siempre buscaba la mejor combinación de rigidez de las dos partes que conforman el mástil para la vela con que contaba. Si la parte baja era muy rígida y la de arriba flexible, podía lograr gran profundidad en la parte baja pegada al mástil y aplanar la baluma. En aquella época no teníamos mucha idea de flujos y formas, pero sabíamos que modificando la rigidez del mástil se lograban formas diferentes y resultados distintos para distintos tipos de viento. Tristán tenía la altura ideal para el Laser, pero le faltaba peso cuando el viento aumentaba, y una de las posibilidades para mantener el bote adrizado es restar potencia a la parte alta de la vela, y se consigue con un mástil más flexible en la parte alta.

Si el diseño de la vela es bueno y coincide con el viento aparente para la cual fue diseñada, deberemos quedarnos con eso, pero en realidad eso nunca ocurre y siempre deberemos estar preparados para modificar esa forma de fábrica al nuevo viento reinante.

Los botes que no tienen estay de popa tienen poca posibilidad de ajuste para la deformación del mástil. Normalmente lo hacen con la escota y fijan con el vang.

84.3.- Afinamiento de la mayor

El ciclo de ajuste de la mayor que es muy similar a la del foque. Al igual que el foque los ajustes básicos son aquellos que modifican la tensión de los costados de la vela.

Sería ideal poder llegar a una aproximación de la forma que nos asegure la potencia que necesitamos y su posición manejando manualmente la botavara, de la misma forma que se hace con un foque, cuando el viento y nuestra fuerza lo permiten. Como esto casi nunca se puede en la mayor, recurriremos el camino largo.

Manteniendo la botavara con el ángulo de cazado de acuerdo con la incidencia que el flujo del foque nos envía, y con la forma parecida a la que nos aconsejan las recetas o nuestra experiencia, recomendando salir a navegar. Si es necesario aplicar ajustes, partiremos por el ángulo de ataque, o sea la zona en donde se recibe el flujo proveniente del foque, después la profundidad límite y twist. Iniciaremos la navegación en una ceñida con una vela embolsada, la baluma ligeramente tensa o con poco twist y el bote plano. Al principio podrán observar que las lanas o catavientos nos indican una adecuada incidencia del viento, y por la cara de sotavento, que el flujo se mantiene siempre adherido a hasta llegar a la zona de máxima profundidad. En ese punto si la comba es mucha, normalmente comenzarán nuestros problemas de turbulencia. Si la máxima profundidad está más atrás, más tardarán en formarse. Es el momento de recurrir a los ajustes para quitar poco a poco la profundidad, manteniendo la vista en las lanas de sotavento, o sea en las que “no se ven”, hasta lograr que todas trabajen en la dirección del flujo hacia el borde de fuga.

Al trabajar el flujo por sotavento se provocará un aceleramiento que nos obligará a quitar otro poco de profundidad, y así sucesivamente hasta que se mantenga el flujo sin interferencia en toda la altura.

Ocurre normalmente que las lanas superiores de la baluma no están trabajando. Es el momento de aumentar ligeramente, poco a poco el twist, hasta que todas las lanas trabajen hacia el borde de fuga.

El twist redujo la profundidad, pero tenemos buena velocidad porque el mar está con ligeras ondulaciones y podemos mantener el bote adrizado.

Si el mar está con grandes olas, y debemos ir en contra de ellas, es conveniente buscar nuevamente la profundidad límite, pero manteniendo el twist hasta el límite que no podamos mantener adrizado el bote. Si aumenta la fuerza, deberemos dar más torsión a la vela o achicar paño.

Si el mar está plano y el viento suave, más o menos 8 nudos, puedo optar a una mejor relación alzamiento arrastre, que se consigue aplanando poco a poco la vela.

En todo el proceso y mientras se navega, siempre se debe estar observando las lanas emplazadas cerca de la baluma por sotavento. Eso nos asegura que la sustentación está presente, así como las del gratil nos aseguran la correcta incidencia del viento y la óptima acción del viento por barlovento.

La forma más fácil para detectar una vela mal afinada es en los virajes. Cuando se hace un viraje por adelante, la vela se “despega” del rumbo anterior y se restablece al nuevo rumbo con un solo golpe. Si se acomoda poco a poco o a parcialidades es porque esa vela está mal afinada.

Esto es válido para un bote con una sola vela y para el que emplee foque y mayor.

Como se trata en este caso de una sociedad de foque mayor, cada vez que se modifique la posición y forma del foque, se está dando la orden de revisar el trimado y afinamiento de la mayor, y el ciclo se inicia nuevamente.

Siempre es necesario estar atento a la aparición del fantasma de la separación. Si la vela tiene una buena forma y si la navegación se hace en aguas planas el problema de la separación o desprendi-

miento con pérdida de la sustentación es menor, la formación de turbulencias por sotavento sólo será responsabilidad del timonel. Sin embargo cuando se navega en mares tortuosos, con olas mal formadas, es necesario trabajar un “poco al promedio”, porque por el exceso de cabeceo, movimiento poco deseado, nos generará permanentes variaciones en el viento aparente.

En un mar choppy caracterizado por la formación de pequeñas olas muy seguidas e irregulares. El secreto es la velocidad y evitar los “montículos” o puntas de agua buscando en cada momento mantener la velocidad y el camino más plano.

Esta formación en el mar es común en la costa y se produce por el rebote de las olas en la playa o en roqueríos, que definen un ciclo de olas que pueden observarse porque avanzan en dirección opuesta a la ola normal y cuyas ondulaciones entran en resonancia por parcialidades, con la ola oceánica y la ola de viento, provocando verdaderos promontorios o puntas de agua y depresiones.

En mar abierta se provocan cuando sopla viento en contra o en sentido diferente al régimen normal de olas.

En este tipo de cancha, anticiparse al choque con una ola y evitar las grandes depresiones es de suma importancia, y la visión del timonel no debe ser obstruida por el resto de los tripulantes. Esta ola que se devuelve después de haber chocado con la costa, a veces con mayor velocidad, pero más baja, es una buena aliada para ceñir a favor de esa ola a mejor velocidad. Un atento timonel aprovecha esa energía para tomar velocidad cuando la popa se levanta en cada ola, pero evitando cortar las puntas con la proa.

No conozco exactamente la razón, porque puede atribuirse a muchas, pero cuando navego con estas olas escondo un tercio la orza, lo que genera una gran ganancia en la velocidad sin perder altura. Será que tengo menos arrastre?

Cuando el viento aumenta y no podemos adrizar el bote, por exceso de potencia, el recurso primero es achicar la vela. Si no se puede, entonces se debe recurrir a los ajustes para quitar potencia a las partes altas de la vela, manteniendo la potencia en las partes bajas. O esconder la orza para permitir un mayor grado de abatimiento.

Aplanar completamente la vela, como normalmente aconsejan las recetas, es otro recurso, pero sólo para emplear la intermitencia en el trabajo de la vela. No es un recurso aconsejable, porque los golpes de las rachas de viento, o los bruscos cambios de dirección que imprimen las amuras, provocarán desvente y flameo de las velas, mojando la espalda de los que contrapesan el bote, o fuertes escoras con posible volcamiento. ¡Es una navegación demasiado sufrida!

Para sobrevivir en un Pirata o un Lightning, cuando aumenta demasiado el viento, la fórmula es sacar el foque y navegar sólo con la mayor. La enorme tendencia a aproarse se elimina abatiendo la orza hasta que se equilibre. Con treinta nudos, ya es difícil navegar en cualquier bote chico, pero se puede con la receta anterior. Verán que se puede navegar incluso con un mínimo de orza. El abatimiento es enorme, pero algo de altura se logra.

Cazar en exceso el cunningham para llevar la máxima profundidad muy adelante puede ser de ayuda, pues es una forma de achicar la vela, escondiendo parte del paño tras el mástil, pero esto lo aplicamos pensando nuevamente en sobrevivir y no en buscar formas adecuadas, tal como mostró en una foto anterior.

El cunningham es un ajuste que debe usarse en vientos normales como una herramienta sólo para quitar arrugas a la vela, pero sin que afecte el ángulo de ataque de la vela.

Hemos visto recientemente en el mercado, juegos de vela que tienen una excelente calidad de tela que no cede, pero con diseños que llevan la máxima profundidad de la mayor muy cerca del gratil, con un foque que trae de fábrica la mayor profundidad muy adelante, con una curvatura muy cerrada, de poco radio. Creo que este diseño obedece a una antigua teoría, que relaciona foque y mayor. En

breves términos dice que la posición de la máxima profundidad de la mayor está en relación con el traslape de la genoa.

El error está en pretender que el flujo obedece instrucciones. El comportamiento del flujo de aire cuando se desplaza por la vela obedece a leyes físicas que hemos analizado en extenso. Una cerrada curvatura es para el flujo un obstáculo que genera turbulencias.

Una profundidad muy delante de la mayor nos obliga a una ceñida muy abierta, casi cercana a una cuadra.

Una vela mayor de tela que es flexible, que tiene la profundidad pegado al mástil es un mal diseño y funciona peor, si recibe un flujo turbulento. Puede mejorarse esta situación deformando el mástil para mejorar el ángulo de ataque, pero es apenas una leve mejoría.

Es recomendable antes de decidir la compra de una vela, o inclinarse por un fabricante, revisar el diseño, tela y tener claro el rango de viento en la que se ocupará con mayor frecuencia, pero nunca acepte una mayor con gran bolsa pegada al mástil.

85.- Vela de Windsurf

En una vela de Windsurf, la posibilidad de modificar la forma para determinadas condiciones, es muy parecido a la de una vela de cualquier velero.

Normalmente nuestros windsurfistas afianzan la botavara a la altura que más les acomoda, o sea a la altura de los hombros, sin embargo, si desea darle más twist a la vela, debe emplazar el puño en la parte más baja del mástil que permite la abertura la vela. Si de cerrar la baluma se trata, el puño de la botavara debe estar en la parte más alta.

La potencia de una vela de windsurf con fullbatten está dada por la profundidad de la vela y por la tensión de la baluma. Una vela con mucha bolsa y baluma cerrada, es capaz de generar mucha potencia pero apunta poco.

Esto lo han resuelto agregando más tela a la baluma, pero esa parte no trabaja permanentemente salvo cuando “bombean”

Últimamente he visto interesantes modelos de vela muy planas a que sobrepasan los 10 m2. de superficie, pero son para tablas muy anchas.

Las tablas normalmente no necesitan gran potencia porque entran fácilmente en planeo, o sea con mínimo arrastre del agua sobre el casco, por lo que buscar la máxima potencia no es lo más importante.

Los actuales modelos rara vez tienen catavientos, sin embargo no existe otra posibilidad para afinar una vela que con la ayuda de catavientos. No se trata de llenar la vela con sensores, sino que disponer a lo menos de los que indican la salida del viento cerca de la baluma. Al igual que las velas de otras embarcaciones, la indicación del cataviento de sotavento indicará la profundidad que necesita esa vela para esa velocidad máxima.

Tensar al máximo todos los ajustes de control no asegura la mejor forma, y los fabricantes de esas velas no están interesados en dar indicaciones, porque su negocio es vender velas para 15, 20 nudos, para 30 y más nudos de velocidad de viento. Velas con profundidad abajo y otras para distintos mástiles, con muchas formas aseguran el éxito de la operación.

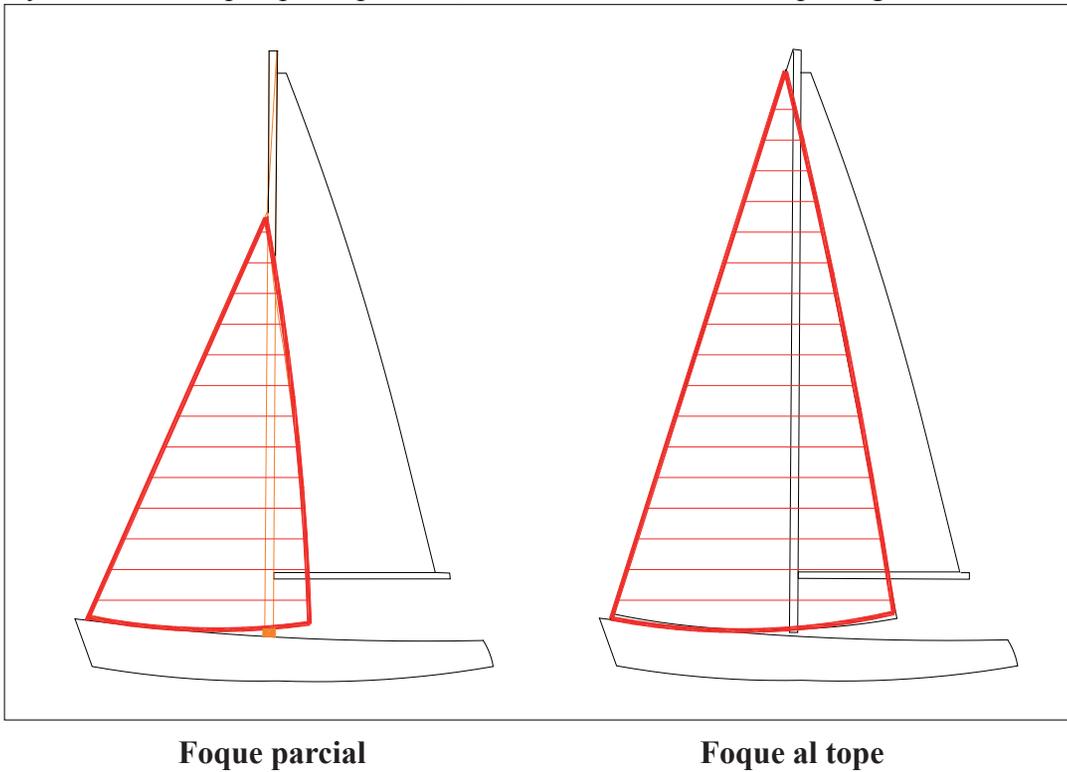
Saber de velas y de su funcionamiento puede ser un gran ahorro para los valientes windsurfistas.

86.- La mayor con foque parcial

El trabajo de las velas, solas o actuando en sociedad, consiste en desviar ordenadamente la máxima cantidad de flujo en el mayor ángulo posible, con el objeto de lograr la mayor fuerza de reacción sobre el velero.

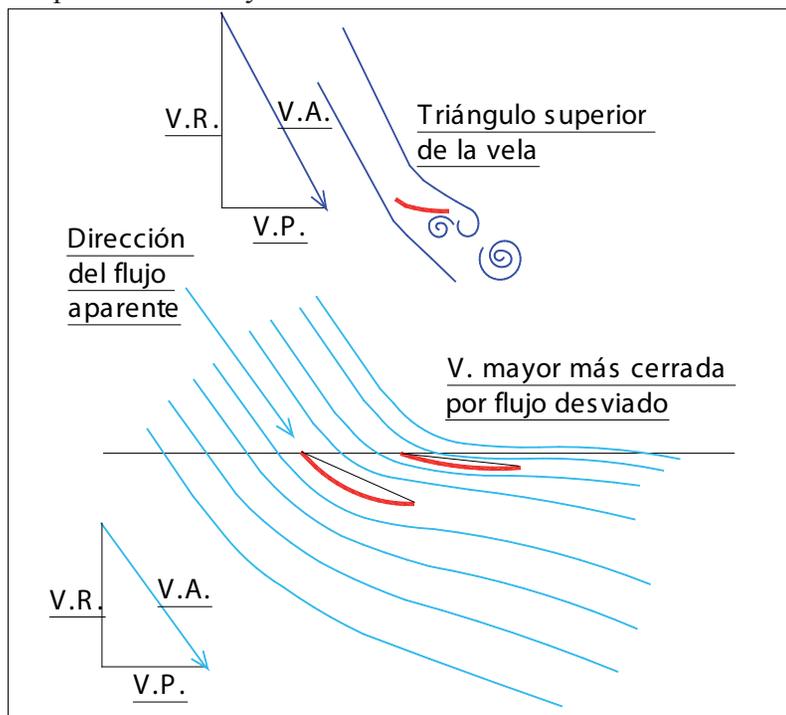
El foque desvía el flujo sólo hasta donde su altura lo permite, provocando en esa zona de la ma-

yor, dos flujos de diferente dirección. A consecuencia de esto la forma de la vela mayor se ve afectada por la forma y tamaño de foque que lo precede, como se indica en el croquis siguiente:



Esta complicación obliga al trimer a dar a la vela mayor la forma adecuada para que reciba el flujo desviado por el foque, sin importar lo que suceda en el triángulo superior.

Sin embargo se puede lograr mejorar la situación aumentando el twist del foque. El objeto es desviar el flujo con un pequeño ángulo hacia arriba y de ese modo hacer trabajar parte del costado de sotavento del triángulo superior de la mayor.



Se puede apreciar en el croquis, que la parte superior de la vela mayor recibe el flujo en un ángulo de incidencia que no está de acuerdo con el ángulo de ataque de esa parte de la vela. Como consecuencia, en todo el alto de ese triángulo que no está influenciado por el foque, se forman turbulencias por sotavento y naturalmente en esa zona no se está generando sustentación, sólo freno. En ceñida es preferible no contar con ese triángulo superior.

Si consideramos que en la parte superior el viento es mayor que en las zonas bajas, y el viento propio (V.P.) se mantiene, el viento aparente (V.A.) en esa zona tiene una dirección que empeora las cosas, generando fuerza por acción directa por barlovento que sólo aumentan el abatimiento y la escora, y por sotavento sólo freno. Esto se soluciona con twist.

Las velas traen normalmente de fábrica cuatro catavientos emplazados en la baluma. Si su vela mayor no los tiene, ¡póngaselos! Una vela mayor precedida de un foque parcial, en la que trabajan en buena orientación los tres catavientos más bajos es una vela que está trabajando bien. Si se logra hacer trabajar los cuatro, es todo un mérito. El cataviento más alto normalmente está escondido, acusando que el flujo en esa parte se está devolviendo hacia sotavento. Si eventualmente aparece, ya es bueno.

En realidad el triángulo que no es afectado por el foque, en ceñida, provoca más problemas que beneficios. Se puede apreciar en los nuevos diseños que esa parte de la vela fue eliminada, terminando la mayor en una forma curvada.

87.- La mayor con foque al tope.

El foque o genoa desvía el flujo y la mayor debe adecuarse al nuevo rumbo del flujo. En este caso el flujo desviado actúa sobre todo el paño de la mayor y no existe el problema planteado en el caso anterior.

88.- La Sociedad Foque Mayor

Hasta ahora damos por hecho que las embarcaciones andan mejor en rumbos no portantes, con dos velas, foque y mayor, que con una vela que tenga una superficie equivalente a la suma de las dos, pero ¿es efectiva esta afirmación?

El empleo de foque y mayor, que fue un descubrimiento de antiguos navegantes, no tiene una explicación física satisfactoria, y hasta ahora, las distintas teorías que se refieren al tema, que han sido publicadas y difundidas, siguen sin convencer ni siquiera a sus autores.

Expondré mi punto de vista:

En el capítulo en que se analizó la Fuerza de Sustentación, informé de la existencia de varias y muy difundidas teorías erradas sobre la sustentación.

La teoría que dice que la fuerza se genera por la diferencia de presión entre los costados de la vela, producto de las diferencias de velocidades del flujo, se encuentra con un problema insalvable cuando intenta una explicación seria sobre el funcionamiento de un foque y una vela mayor o sea con más de una vela interactuando.

Para que esta teoría sea aplicable, la velocidad del flujo por sotavento de la génoa debe ser mayor que del canal, y la velocidad del canal debe ser mayor que la de barlovento de la mayor. Esto claramente no sucede y así lo reconocen. Más complejo es aun explicar lo que sucede en un bergantín o en un navío que tiene muchas velas.

Los que sostienen esa teoría reconocen que no pueden explicar el fenómeno de la generación de potencia por esta vía cuando aparecen las sociedades o sistemas de velas con una disposición similar a una persiana ligeramente entreabierta.

La verdad es que este tema, y en especial las características geométricas de la separación entre las velas o canal, así como el tipo de flujo que circula entre las velas ha sido una inagotable e histórica

fuente de discrepancias entre los navegantes y entre los que han investigado el fenómeno.

No quedará fuera de esta discusión, y aunque los más recientes libros descalifican a priori cualquier opinión discrepante a la última teoría que ellos entregan en sus últimas ediciones, cometeré la osadía de mostrar en estos apuntes una explicación diferente a este fenómeno, porque discrepar es un derecho adquirido de la humanidad desde que descubrieron que somos seres pensantes con capacidad de discernimiento.

Planteamientos diferentes, sobre un mismo fenómeno, hasta ahora llenos de contradicciones enriquecen el debate en busca de la siempre efímera verdad.

Nadie es dueño de la verdad absoluta, y **Nadie** es también el nombre de quien jamás escribirá un libro.

La explicación del fenómeno, por la que dos velas son más eficientes que una de un solo paño **con igual superficie y de similar altura**, se debe básicamente a tres razones:

1.- Relación de aspecto: Una vela de mayor aspecto o de menor cuerda para una misma superficie tiene una mejor relación Alzamiento-Arrastre (L/D).

2.- Creación de una potencia extra o Fuerza Adicional : Si se cumple con ciertos requisitos, la zona de acción del foque por sotavento de la mayor se hace efectiva a lo menos hasta el borde de fuga de la mayor, como si se tratara de una sola superficie, “que comienza en el gratil del foque y termina en la baluma de la mayor”.

3.- Menor arrastre o freno. La capa límite laminar se desprende de la superficie de una vela, de acuerdo al Número de Reynolds, o sea por la distancia recorrida por el flujo, por la velocidad del flujo.

Una vela de gran cuerda tiene mayor posibilidad de desprendimiento del flujo que sus parcialidades. O sea que una vela de gran cuerda tiene más arrastre y menos potencia por la pérdida de la sustentación por sotavento, que dos velas cuya suma de cuerdas sea igual o levemente mayor a una sola vela.

88.1.- Efectos asociados a la relación de aspecto

La relación de aspecto en las velas triangulares es una característica geométrica que determina altura y largo de cuerda media.

Tal como se indicó anteriormente, el freno por inducción afecta menos cuando la vela es más alta, pero el arrastre por forma aumenta y a medida que se hace mayor la cuerda, más aumenta el freno por rozamiento.

Analicemos cada efecto por separado:

Efecto arrastre:

Realicemos una comparación el funcionamiento de foque y mayor con una vela única que tenga por superficie la suma de ambas velas con la misma altura.

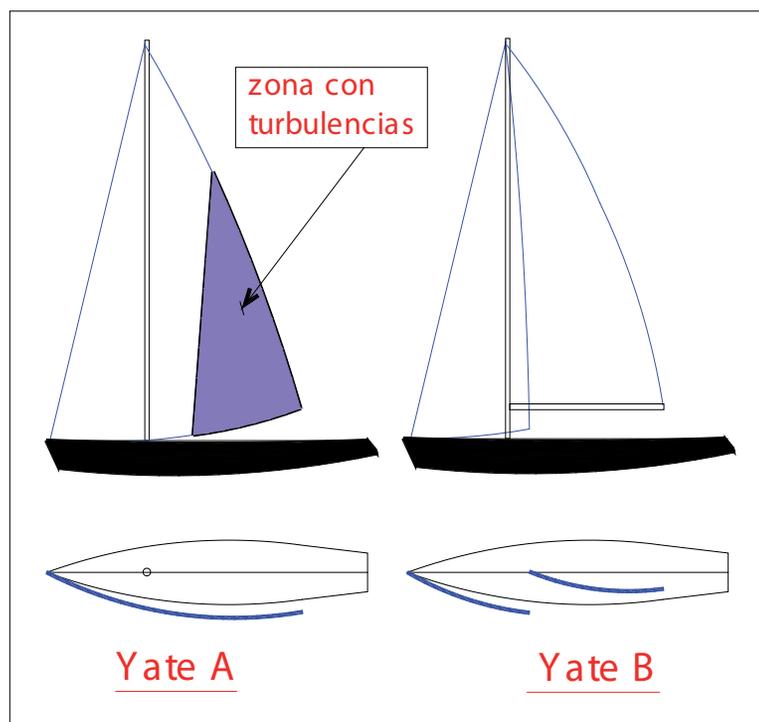
La primera causa de la mejor eficiencia de foque-mayor se basa en que el arrastre total de una sola vela de esas características es mayor a la suma de los arrastres individuales de cada vela de menor cuerda.

Me explico: A principios del siglo veinte Prandtl, investigador de origen alemán, descubrió la existencia de la **capa límite** adherida a los cuerpos en contacto con cualquier fluido, cuya explicación hemos visto en extenso.

Posteriormente Reynolds nos indicó el comportamiento de esa capa límite, en placas planas, que aumenta de espesor “aguas abajo” hasta que se desprende o entra en etapa de separación generando máximo freno cuando por aplicación de la fórmula nos entrega un número cercano a 1.000.000. En los

fluidos las cifras no son tan exactas, y de acuerdo a la situación o estado del flujo libre, bien puede producirse la separación en cifras de $Re = 1.500.000$ o en $Re = 2.500.000$. A mayor recorrido del flujo, a mayor cuerda, más posibilidades de separación tiene del flujo.

Si mejoramos la relación de aspecto, dividiendo el paño de la única vela en dos, obviamente cada paño tiene menos cuerda que el total, y tiene menos posibilidades de que su capa límite entre en separación. Mientras la capa límite esté adherida, ya sea en forma laminar o turbulenta, el arrastre por roce es mínimo.



El yate A y el B tienen igual superficie de velas

En el croquis anterior, se destaca en la vela de un solo paño la zona propensa a la formación de turbulencias por separación de la capa límite. Si la cuerda en la parte baja es de 5 metros, apenas el viento comienza a sobrepasar los 15 nudos, de acuerdo a la tabla anterior, la turbulencia amenaza desde los 2,50 metros hacia atrás.

Por barlovento el flujo turbulento sigue aportando a la potencia de la vela, pero por sotavento la sustentación en esa zona turbulenta desaparece.

En el croquis podemos apreciar además, en la zona marcada como afecta a la turbulencia, que tiene dificultades para aportar al movimiento efectivo.

Agréguese a esto que con una génoa tan grande no se puede pretender ángulos de ceñida apretados, porque la escora y el abatimiento serán exagerados. Sólo se podrá optar eficientemente a rumbos más bajos, con mayor ángulo de ceñida.

88.2.- Efecto sustentación:

La segunda causa por la que la sociedad de velas funciona mejor que una sola, se debe a la estabilidad o permanencia de la fuerza de sustentación por sotavento de las velas.

La fuerza de sustentación permanece aportando energía mientras el flujo está adherido a la superficie de la vela. Apenas el flujo se desprende, desaparece y aparece el arrastre.

En el apartado referido a la elección del tamaño de la génoa, les entregué un cuadro de la máxi-

ma dimensión recomendada en función de la velocidad del viento para un foque que para comodidad lo repito:

<u>Veloc del viento aparente</u>	<u>Longitud cuerda máxima recomendada</u>
0 m/seg. a 4 m/seg	máximo tamaño
5 m/seg. = 10 nudos	2,50 metros cuerda
7,5 m/seg = 15 nudos	1,70 metros cuerda
10 m/seg . = 20 nudos	1,25 metros cuerda

Esto significa que si optamos por genoas de mayor dimensión a las recomendadas por cálculo del número de Reynolds, el flujo presentará con seguridad características de desprendimiento de la capa límite.

En esas circunstancias un segundo y pernicioso efecto se suman al deterioro del sistema que ya cuenta con mayor arrastre y pérdida de la sustentación. Se manifiesta en la vela mayor, que si recibe un flujo turbulento, el flujo se mantendrá turbulento en toda la superficie de sotavento, y el aporte de potencia por sotavento será nulo.

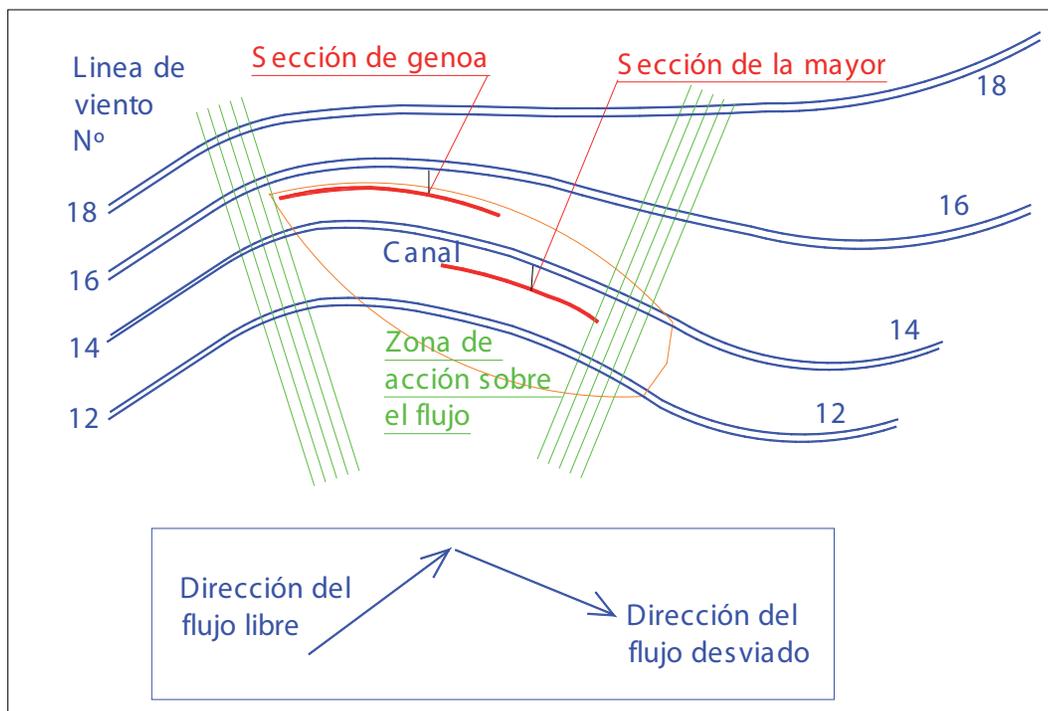
89.- Potencia extra de la sociedad foque mayor

Algunos textos de navegación nos informan que las grandes génoas actuando en sociedad con una vela mayor, **no tienen mejor rendimiento** que la suma de cada vela actuando individualmente, pero que cuando se trata de foque y mayor, afirman que la sociedad genera más potencia que la suma de cada vela actuando individualmente.

La explicación a esta afirmación la encontramos en lo desarrollado en el punto anterior. Ahora sabemos que la elección del tamaño de una génoa obedece al exceso de escora pero principalmente a la separación de la capa límite de la superficie de las velas.

El tamaño de la cuerda de una génoa tiene ahora para nosotros un nuevo límite basado en el arrastre.

color



En el presente croquis se representan esquemáticamente los flujos que intervienen en la zona media de una génoa y mayor, en rojo, suponiendo que se mantienen horizontales, y la zona de acción, o sea el espacio en donde las velas desvían el flujo para captar energía útil al movimiento.

La canaleta, corredor o canal entre el foque y mayor es el espacio entre la superficie posterior de barlovento del foque y la primera parte de sotavento de la mayor (que se inicia en el mástil de una embarcación). Cuando se emplean grandes génoas, el canal tiene profundidad, por lo que algunos autores de textos lo llaman túnel. Nosotros emplearemos el término canal.

Cuando un foque o una génoa actúa en sociedad con la vela mayor, el flujo representado por la línea N° 18 y N° 16, después de abandonar el borde de fuga de la génoa, se mantiene adherido al flujo N° 14, y a través de él a la superficie de sotavento de la mayor hasta el límite de la zona de acción dibujada en verde. Esto significa un **aumento extra a la potencia** que generaría un foque actuando sólo.

Esto no es automático, y no se provoca por el sólo hecho que están presente ambas velas. La enorme y permanente tarea mientras navegamos y antes de aflojar amarras, es afinar y trimar ambas velas para que los flujos N° 18 y N° 16 permanezcan adheridos al flujo N° 14 generando mayor sustentación. ¿Cómo se hace si las líneas son invisibles?

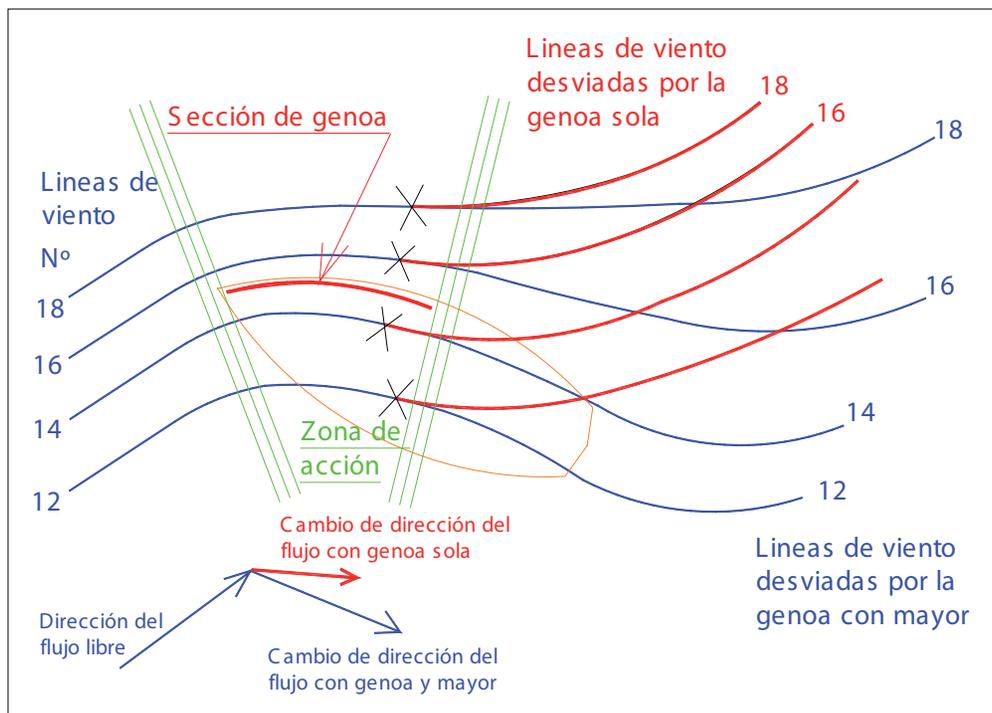
Generar cambios de velocidad en los flujos intermedios (N°16) es un gravísimo error porque flujos de distintas velocidades no se juntan y sólo provocan turbulencias. En la atmósfera, dos grandes masas de aire de distinta velocidad o temperatura o presión jamás se juntan sino que chocan como cuerpos diferentes, generando en la zona de contacto toda clase de fenómenos climatológicos. En la zona de sotavento de la mayor, no tenemos esos problemas, ni los deseamos, por eso es que **los flujos deben mantener la misma velocidad y abandonar la zona de influencia de la génoa sin turbulencias.**

Sin lugar a dudas, esta afirmación que va en contra de lo que estábamos acostumbrados a escuchar, es decir que el flujo debía acelerarse para mejorar las diferencias de presión entre los costados de las velas, es otro concepto, que debemos entender y aplicar en su reemplazo. Las velas al aire libre

color

generan potencia por la cantidad de masa de aire desviado y no por diferencias de presión, que como explicamos anteriormente, podría producirse eventualmente como consecuencia de una vela mal expuesta al viento enorme, o en el interior de un túnel de viento que es aspirado por un motor para provocar una corriente de aire.

Analicemos la potencia extra desde otro punto de vista: Cada vela por separado ejerce una acción sobre el flujo que se desplaza libremente, que podemos llamar **campo de acción**. En el croquis anterior mostramos las líneas de rumbo N°12, 14, 16, y 18 influenciadas o desviadas por una genoa con una mayor. En el siguiente croquis las mismas líneas se muestran para facilitar la comparación o diferencia con los rumbos que toman las líneas sin la vela mayor.



Si eliminamos la vela mayor, las líneas de viento, después de pasar por la génoa, tienden a restablecer el rumbo que traían antes de toparse con la génoa, indicadas con color rojo.

La zona de acción se ha reducido, como consecuencia el flujo desviado por la génoa es menor, y en un ángulo de desviación es también menor que cuando actúa en sociedad con la mayor, como se indica con los vectores de la parte baja del croquis.

Deseo recalcar que en todo momento hemos estado hablando de cantidad de flujo, de masa de aire desviado y ángulo de desviación de la masa de aire. Siempre debemos optar al máximo si lo que deseamos es la máxima potencia.

El límite de la potencia que se puede captar siempre estará regido por la separación del flujo desde el costado de sotavento de ambas velas. Las causas de la separación en esta sociedad son:

En el foque:

Mal trimado, o sea exceso de cazado con relación al ángulo de ataque.

Exceso de curvatura en el ángulo de ataque (mucha tensión en el cunningham)

Exceso de viento; superior a 30 nudos
Mucho cabeceo en ambos sentidos.
Haber sobrepasado la profundidad límite.
Exceso de twist.

En la mayor:

Cuando recibe un flujo turbulento o separado desde el foque.
Mal trimado, o sea exceso de cazado con relación al ángulo de ataque.
Haber sobrepasado la profundidad límite.

En la potencia extra de la mayor:

Cuando el flujo se acelera en exceso por estrechamiento del canal.
Cuando concurre cualquiera de las causas enumeradas para el foque.

Cuando se trata de una competición de alto nivel de tripulantes, la mantención de la potencia extra que nos otorgan las líneas de flujo N°16 y 18 genera la diferencia de velocidad, esa que permite ganar metros y acercar la línea de llegada más rápido que el resto de los competidores. A otro nivel de competidores, la diferencia entre los que saben de este fenómeno y los restantes, los que se quedan atrás casi siempre son mayoría.

Para eso es fundamental saber cómo se deslizan los flujos a través de nuestras velas, en especial la observación permanente de los catavientos de sotavento mucho más que los de barlovento que están indicando lo que ya se sabe, o sea que la fuerza en ese costado está siempre presente incluso con nuestras pequeñas distracciones. Los de sotavento son lejos los más importantes por las razones expuestas anteriormente.

Si deseamos excelencia nuestra preocupación debe ser extrema.

Cuando se emplean génoas que sobrepasan los límites indicados en el cuadro de “elección de focos o génoas”, el riesgo de perder la sustentación extra es real. Pero si el flujo que abandona la zona de influencia de la génoa permanece laminar o turbulento pero sin separación o desprendimiento, la presencia de una mayor bien trimada permite ampliar la zona de acción efectiva de las velas.

He visto en regatas de yates grandes, la mala costumbre de aplanar al máximo la vela mayor sin importarles la condición de viento ni de oleaje. Ahora se entiende el daño adicional que provocan a la fuerza impulsora de nuestros botes.

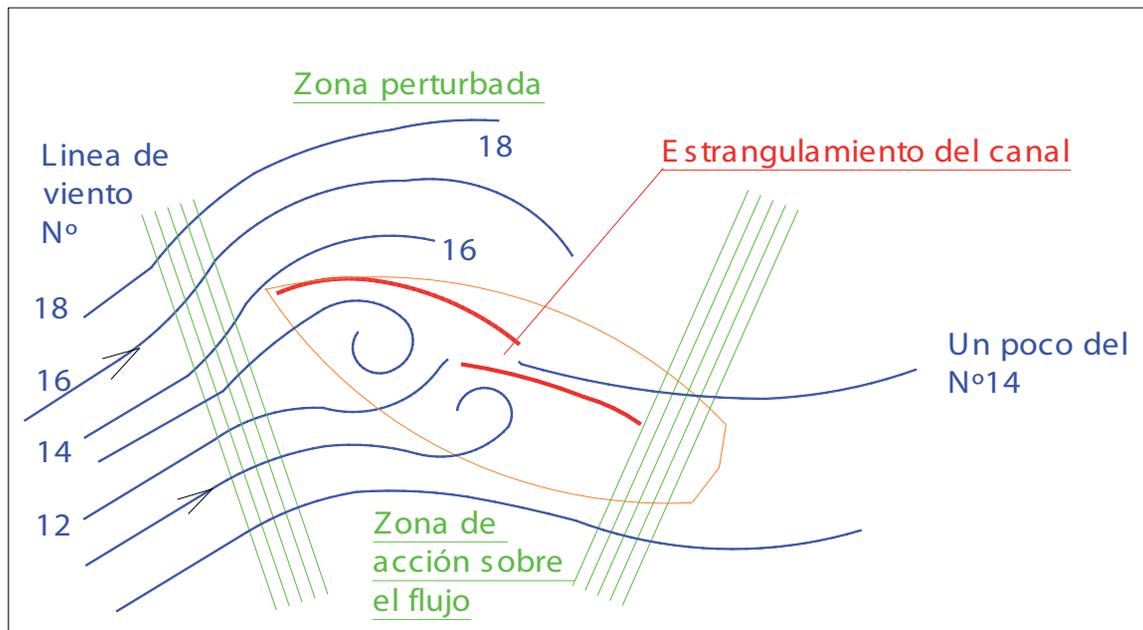
90.- Estrangulamiento del canal

Cuando se pone un simple embudo con la parte más ancha al viento, el flujo que choca con la mayor sección no tiene la obligación de pasar por el pequeño orificio. La mayor parte del flujo frena y busca otra ruta.

Si el canal formado por génoa y mayor se estrecha demasiado, el mayor caudal no está obligado, como en un sistema cerrado, a pasar por el canal sino que el flujo buscará alternativas, siendo la ruta más factible la de sotavento del foque pasando por el gratil, o barlovento de la mayor, previo pérdida

de “momentum” o de energía de la masa de aire que traía, que se traduce en freno, por lo que el sistema general entra a colapsar produciéndose como consecuencia la pérdida de velocidad.

Si el flujo escoge escapar de esta posición por arriba y debajo de la vela (pujamen) provocará un gran aumento de los vórtices que siempre existen en esa zona (más freno).



“El viento se frena cuando enfrenta un obstáculo, forma turbulencias y se acelera cuando encuentra el punto de escape”.

Es un grueso e inmenso error, mientras tratamos de ceñir, buscar métodos para frenar el viento con las velas para aumentar hipotéticamente la diferencia de presión entre ellas.

De acuerdo a la difundida y errada teoría de la sustentación basada en principios de Bernouilli (¡sin su aprobación!), frenar una masa de aire en la zona de barlovento del foque por estrechamiento excesivo del canal, posibilitaría aun más la diferencia de presión entre los costados del foque, lo que generaría un mayor alzamiento en la mayor. Claramente esto no ocurre, y a estas alturas podríamos dar muchas razones por la que no se provoca la sustentación por sotavento del foque, y porqué aumenta el arrastre.

Observemos lo que sucede en las velas: Al estrechar el canal, lo que estamos haciendo es detener el viento gastando energía, o sea frenando el andar, y después cuando parte del flujo N°14 encuentra el punto de escape, aumenta la velocidad en el canal. De acuerdo a la errada teoría de las diferencias de presiones, en esa zona existiría menor presión que en los otros costados de las dos velas. Eso provocaría una tendencia a juntar las velas, tal como ocurre con el ejemplo de los dos papeles cuando se sopla entre ellos.

Lo que se ha logrado, al estrechar el canal, es crear una verdadera barrera para el flujo de masa de aire que se desplazaba libremente, que choca con la masa de aire “indecisa y desorientada” que se encuentra en la zona de barlovento de la genoa. A diferencia de una tropa de ovejas que se dirige hacia una barrera o alambrada que debe cruzar obligadamente por un portón, el aire tiene la opción de tomar rutas alternativas en altura, o sea en forma de corrientes, pero el frenazo ya se ha producido, al igual que el que sufre el “piño de animales”.

Por sotavento la masa de aire cercana a la superficie de la vela, que podría haber generado la fuerza de sustentación ha perdido energía y rumbo.

La resultante de las fuerzas que actúan sobre las velas seguramente tendrá una componente enorme hacia popa.

Se dice que las catástrofes nunca vienen solas, efectivamente en este caso, la bolsa de aire a que hacíamos mención, aparte de frenar al flujo libre, provoca un enorme aumento de los vórtices extremos de las velas. Los vórtices son remolinos de viento que se producen principalmente en zonas de diferente velocidad, como la punta de las alas de un avión, o en el triángulo superior y en el pujamen de una vela. Provocan un gran freno, prolongándose aguas abajo como la cola de un cometa.

Sin duda que el estrangulamiento del canal es el desastre es total. En el croquis anterior el ejemplo se ha exagerado para magnificar las consecuencias, pero es efectivo que cualquier intento por cambiar la trayectoria fluida de la masa de aire que pasa por el canal basada en la disminución de la sección provoca pérdidas en la generación de fuerzas y aumento del arrastre.

Si la velocidad del canal aumenta es porque existe un problema con la forma y cazado de las velas.

91.- Formas y trimado de las velas en sociedad.

La forma triangular del foque y mayor hace necesario que este ancho del corredor sea variable y que tenga relación a las cuerdas de las velas que se enfrentan, de modo que el mayor ancho debe estar al tercio inferior y disminuyendo hacia arriba. No es válido por tanto lo expresado en algunos textos en cuanto recomiendan un solo ancho para todo el corredor, porque geoméricamente no se puede lograr, a menos que fabriquemos un artilugio especial.

Aun cuando es difícil generalizar sobre las distintas combinaciones de foque y mayor, existen algunas reglas básicas que deben ser consideradas como obligatorias:

1.- El twist de la mayor, en toda su altura, en cada sección, debe estar en armonía con la inclinación o ángulo del borde de fuga de la genoa o foque, de tal forma que no se provoque un brusco cambio en la dirección del flujo.

Probablemente un foque con mucho twist obligará a una forma con mucho twist en la mayor.

Un foque plano induce a la mayor a tener en el inicio una forma aplanada.

2.- El flujo que abandona la zona de influencia del foque debe ser limpio, sin turbulencias en todo el alto de la baluma.

3.- El ángulo de incidencia de ese flujo debe acceder tangencialmente a la superficie de la mayor.

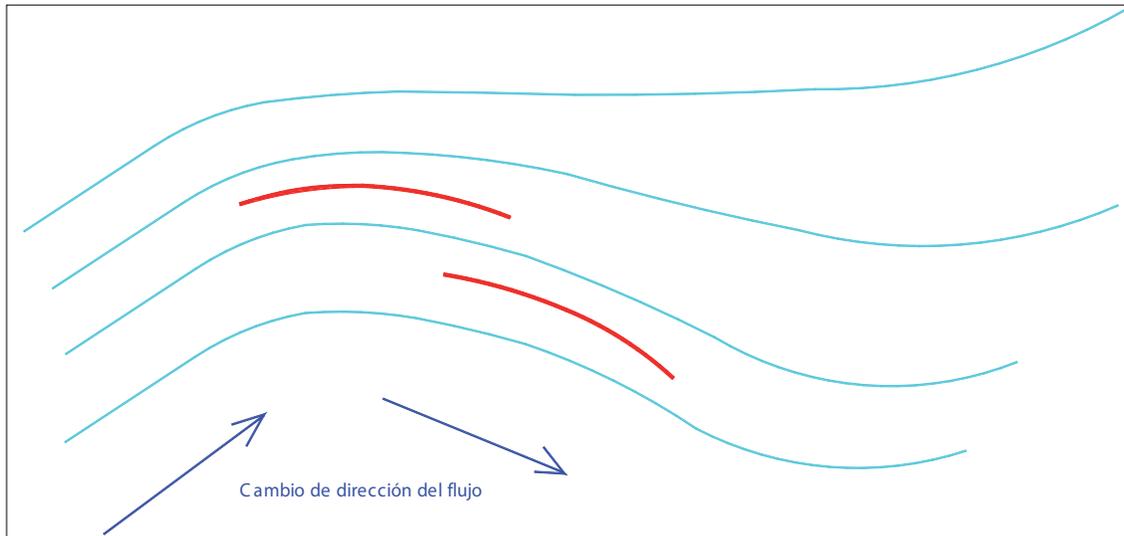
El encargado de la mayor debe darse cuenta inmediatamente cuando la primera zona cercana al gratil se deforma por acción del flujo. Si el trimado o ángulo de cazado de la mayor es excesivo, y no concordante con el rumbo del flujo que entrega el foque, la zona de sotavento no tan solo deja de aportar a la potencia sino que provoca freno. Por esta razón quien tiene la responsabilidad de la mayor debe trimar hasta el punto que se inicia la deformación de la mayor en todo el alto de la mayor.

Es apropiado volver a citar el refrán marinerero: **“The moment you no longer see the suggestion of a luff, you have no way of knowing how over trimmed you are, or how far off might be sailing”.**

Pequeña aclaración relacionada con los croquis:

Está claro que el flujo, formado por muchos miles de millones de moléculas libres, nunca se mantiene horizontal cuando se encuentra con un obstáculo como unas velas, y debe pasar

a través de ellas. El viento busca el rumbo del menor esfuerzo. Pero para mostrar un croquis necesito que algunas trayectorias se mantengan horizontales y hasta puede ser cierto que así ocurra en una línea media.



El ancho del canal formado por la genoa y la mayor depende básicamente de los siguientes factores:

- Angulo de cazado de la genoa.
- Angulo de cazado de la mayor,
- De la abertura de la baluma de la genoa
- Profundidad de la genoa.
- Posición de la máxima profundidad de la mayor.

La sección del canal y la velocidad del viento determinan el caudal o la cantidad de masa de aire que pasa por unidad de tiempo, normalmente un segundo.

Si la sección del canal es de 3 m², y la velocidad del viento es de 10 m/s, (aproximadamente = 20 nudos) el caudal por el canal es de 30 metros cúbicos por segundo. La masa de ese volumen de aire (no el peso) en cada segundo debe ser desviada en un determinado ángulo, por una fuerza que aportan las velas, cuya reacción mueve nuestro bote.

Pero esta no es la única fuerza que generan las velas, porque aparte de la acción directa del viento por barlovento de ambas velas, un flujo aun mucho mayor actúa por sotavento de la genoa y de la mayor como si se tratara de una sola superficie, que es la que genera la potencia extra en una sociedad.

Este concepto es de suma importancia, y básico para entender la importancia de la elección de la dimensión de la cuerda de la genoa según las características del flujo, y de las reglas básicas recién enunciadas.

Si logramos la armonía necesaria en las velas para mantener el flujo adherido en ambas velas, habremos logrado la ventaja que tiene una sola vela del tamaño de la suma de las superficies, pero sin los problemas que tiene esta en el funcionamiento por el límite de la cuerda según el viento establecido en el cuadro anterior.

Esto quiere decir que si existiera una genoa de igual superficie de la suma de foque y mayor, de igual altura, sin las limitaciones de cuerda que la separación de la capa límite nos impone, la elección una sola vela sería beneficiosa. Una genoa de esas características tan eficiente como un foque y mayor.

A pesar que el descubrimiento de la capa límite se remonta a principios del siglo veinte, y con la enorme importancia que tiene en la eficiencia en nuestras velas y casco, su aplicación hasta hoy, cien años después, no se nota una nítida aplicación de sus efectos en la navegación, con la aparente excepción de los últimos diseños de los yates que participan en la Copa América.

Espero que estos apuntes aporten a la masificación del conocimiento de los efectos de la capa límite y sus aplicaciones.

92.- Angulo de cazado de génoa y mayor

Respecto a este tema, un importante libro de navegación norteamericano establece tres reglas básicas rigen las pequeñas variaciones en el trimado y que cito a continuación:

1.- “El ángulo de cazado de la mayor para poco viento, debe ser tal que cuando se inicia el viraje por avante, la mayor desvente poco después que la genoa. **Cuando el viento es escaso la mayor también trabaja para generar potencia**”.

2.- “Cuando el viento es excesivo, al virar por avante, la mayor debe colapsar antes que la genoa. Con mucho viento el peso de la impulsión lo debe desarrollar la genoa por lo que la mayor debe ser cazada hasta que prácticamente no trabaje, cumpliendo sólo una labor de equilibrio”.

3.- “El trimado justo o adecuado es aquella posición de las velas en que se cumple que, al cambiar de rumbo, o virando por avante, todas las velas entren en pérdida por el gratil al mismo tiempo”.

Comentario:

De acuerdo a lo que hemos visto en estos apuntes, la primera parte de la vela mayor cercana al gratil, debe tener una orientación muy cercana o igual a la del flujo que entrega el foque o genoa. Esto establece que esa parte de la mayor está en un ángulo menor respecto a la crujía que el ángulo que forma la primera parte del foque y la crujía.

Cuando se inicia el viraje por avante, siempre y bajo cualquier condición de viento va a colapsar el foque antes que la mayor.

Quizás, a causa de estas instrucciones, es que exista **el equivocado mito** de llevar la mayor siempre cazada en la crujía y absolutamente plana, bajo cualquier condición.

Nótese que sólo en la primera condición permiten a la mayor que trabaje y aporte, no para generar potencia sino para establecer el sistema de diferencia de presiones, situación esta que como hemos visto no es efectiva y conduce a los errores que habitualmente vemos entre nuestros navegantes. Una mayor mal trimada sólo provoca freno

Tan importante como la forma de las velas es el trimado de ellas, para el rumbo que pretendemos, o sea encontrar el ángulo de cazado justo para que la incidencia del viento coincida con el ángulo de ataque del foque o genoa, y para crear un canal entre foque y mayor, en el que los flujos desviados por el foque se unan a los desviados por la mayor en todo el alto de la vela. Si los flujos no tienen velocidades similares, perderemos esa valiosa energía adicional.

El trimado es un detalle que debe ajustarse antes de entrar a una regata. En forma previa, en los

muchos entrenamientos que una buena preparación aconseja, debe estudiarse cada posición o al menos las que permiten mejores velocidades con el mejor ángulo de ceñida, y las que permiten mejores velocidades en otros rumbos. Los ajustes se deben marcar.

Al iniciar un rumbo de ceñida, lo primero es escoger el rumbo al que se pretende navegar de acuerdo al rumbo del viento. Si se trata de ceñir con buen ángulo y máxima velocidad, que es la necesidad en una regata, debemos darnos tiempo para dejar todo listo en entrenamientos anteriores y chequeados antes de la partida, marcando esa posición en los ajustes que intervienen.

Particularmente antes de entrar en regata o en navegaciones normales dedico un par de minutos a detectar el abatimiento respecto a la velocidad del bote, según la posición de la botavara respecto a la crujía. Esto debe hacerse no sólo en ese momento sino en forma previa en entrenamientos anteriores a la regata. Para esto enfilo dos puntos y navego verificando con una posición de botavara el abatimiento y después con otro. Más útil resulta navegar con otro bote amigo al lado que mantenga un rumbo. Habitualmente la mejor ceñida para velas como las de un pirata, no es con la botavara en línea con la crujía sino un poco abierta sin que el extremo salga del casco, pero como siempre depende del tipo de casco, del viento y de la forma y alto de la vela.

Un buen indicador del abatimiento, sin instrumentos especializados que supongo deben existir, se logra con una cuerda de 10 metros que se suelta por la popa. Navegando en los maravillosos ríos de Valdivia, perdí un momento en disfrutar del entorno, para verificar el abatimiento. Pude comprobar que mi Pirata Priwall, en esas aguas, con un viento, de 10 nudos tiene un abatimiento mínimo de 8 a 10%. Con exceso de cazado este abatimiento aumentó exageradamente. Lo que hace colapsar el trabajo de la orza.

Abatimiento y velocidad real del bote son inversamente proporcionales, y cada bote debería tener un registro para cada velocidad del aparente.

Como hemos visto, la incidencia o trimado de las velas es un tema importante y requiere de memoria o muchas marcas y anotación de la posición de los distintos ajustes.

Entrar a una regata sin conocer la embarcación es como pretender tener éxito en la vida sin estudiar, sin preocuparse en la preparación mental y física, sin esforzarse para por conocer las alternativas del medio en donde te tocará vivir y sin mirar el futuro.

Al igual que en la vida diaria, el Poder Divino que reparte los grandes premios en los juegos de azar, puede enviarte alguno, pero al menos debes comprar el boleto que te dará la opción. Sin duda, aun cuando la suerte te acompañe, el éxito aun no estará asegurado si no estás preparado para tamaña sorpresa.

En regatas, los grandes premios obtenidos del azar no existen y sin preparación no hay éxito posible.

A pesar de todo, les deseo muchas regatas y mucha suerte.

Novena parte

93.- Análisis de los resultados de ensayos en laboratorio

Este capítulo está dedicado a buscar conclusiones, aplicables a las formas de nuestras velas, basadas en los ensayos realizados en el laboratorio de Mecánica de Fluidos que generosamente me facilitó la Universidad de la Serena.



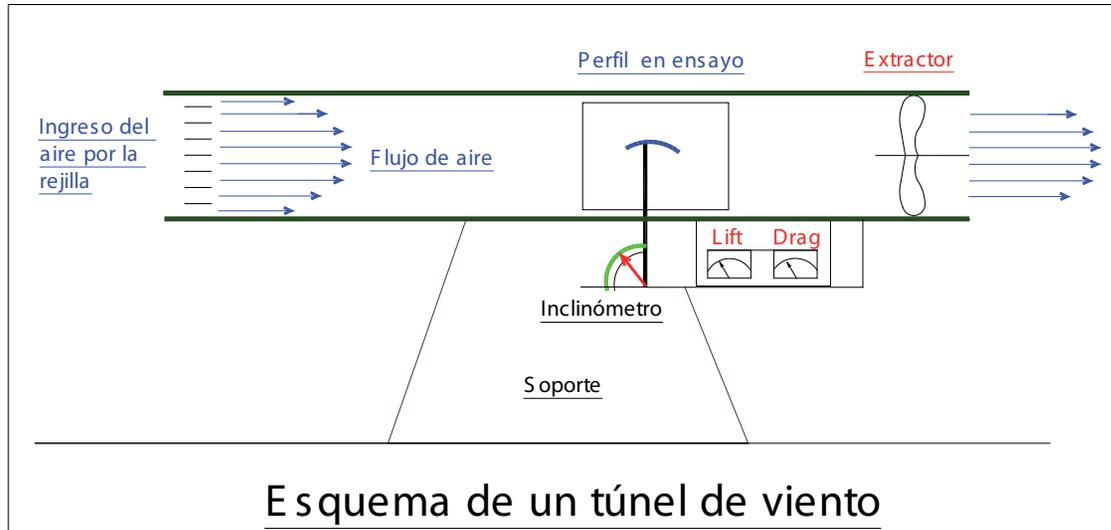
Es el túnel de viento empleado. No es moderno y puede catalogarse como reliquia, pero está bien conservado y lo importante es que me permitió efectuar las mediciones de alzamiento y arrastre de perfiles curvados que más adelante reproduzco.

1.- Túnel de viento

Es un aparato o máquina cuya función es provocar desplazamiento de aire a una velocidad controlada a través de un túnel con el fin de analizar el efecto el viento sobre determinados objetos.

Con el túnel de viento se simulan las condiciones aproximadas experimentadas por el objeto en la situación real.

El túnel de viento fue la herramienta básica y más importante para el desarrollo de la aeronavegación, especialmente para el diseño de nuevos tipos de perfiles y aparatos capaces de volar.



El croquis muestra un túnel de viento para ensayar modelos a escala

Hoy se emplean además para el diseño de otros objetos o máquinas que deben desplazarse como autos, camiones, y en objetos que reciben la acción del viento como edificios, antenas y torres elevadas y puentes.

Es probable que el primer científico que tomó más en serio el análisis de la acción del viento sobre edificios, a principios del siglo veinte, fue Eiffel antes de la construcción de su famosa torre en París.

Estudió una serie de perfiles que en el futuro emplearía en su estructura y además incursionó en perfiles aerodinámicos, pero más orientados a la aeronavegación que a la vela. Fue el inicio de grandes avances en el desarrollo de la aeronavegación francesa.

Cuando inicié mis primeros trabajos en túnel de viento, fabriqué perfiles de latón con diferentes formas. Curiosamente varios de ellos tienen la misma forma de los que un siglo atrás empleó Eiffel para sus experimentos. La más notable de las coincidencias es aquella de doble ala que muestro en la foto siguiente:



Los resultados y conclusiones los presento más adelante en este capítulo.

Hoy existen en todos los laboratorios de fluidos, túneles de viento de variadas dimensiones y características, pero lo más importante en ellos es provocar velocidades controladas de baja y alta velocidad, sin grandes turbulencias.

En el croquis anterior se destaca exageradamente que las líneas de viento centrales son más rápidas que en las que van más cerca de los costados del túnel. Eso sucede por efecto de la viscosidad y la capa límite que retrasa las líneas de viento más cercanas a las paredes del túnel. Si la sección es mayor el efecto disminuye y los resultados son más confiables.

Mediante la aplicación de flujos de aire sobre una maqueta de un grupo de edificios hecha a escala se puede llegar a determinar:

- Los esfuerzos y deformaciones que sufre la estructura debido al viento.
- Las vibraciones que se producen en los edificios.
- Los movimientos del aire en el interior de los departamentos, efecto de olores de cocina y baños.
- Las perturbaciones que producen en el entorno.

De esta forma, se pueden solucionar los problemas detectados antes de iniciar la construcción.

El primer túnel del que se tiene referencia en la historia de la aeronavegación es el Francis Herbert Wenham, científico británico quien a mitad del siglo diecinueve utilizó en sus estudios un túnel de viento para analizar el uso y comportamiento de varias alas colocadas una encima de otra.

Consistía en un cajón de madera con un ventilador en el extremo que aspiraba el aire del interior provocando de esta manera un flujo de aire con un dispositivo para observar el objeto ensayado.

Posteriormente se construyeron en otros materiales y se agregaron otros implementos para medición del arrastre y alzamiento y sistemas para evitar turbulencias en la entrada, verdaderos paneles cuadrículados por donde el aire es obligado a pasar.

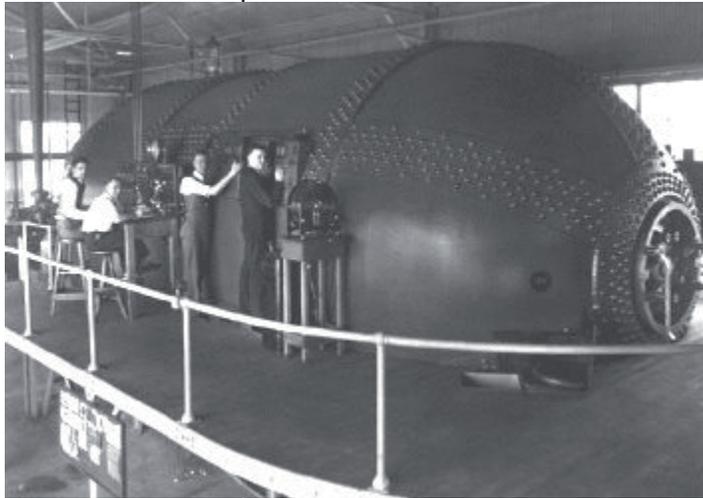
El aire generalmente es aspirado por medio de ventiladores para que los modelos de los prototipos reales puedan someterse al estudio del efecto que se desea conocer. En este caso se puede presumir

que el aire interior se encuentra a menor presión que la atmosférica. Para estudiar el efecto del flujo de aire real alrededor de la geometría del modelo se emplean varios sistemas:

- Puede unirse hebras a la superficie de estudio para detectar la dirección del flujo de aire y su velocidad relativa.
- Puede inyectarse tintes o humo en el flujo de aire para observar el movimiento de las partículas al pasar por la superficie.
- Puede insertarse sondas en puntos específicos del flujo de aire para medir la presión estática o dinámica del aire.

El resultado de los ensayos en túnel de viento no es directamente aplicable a los objetos a escala real, porque entre otras cosas la turbulencia de la capa límite, tanto del objeto ensayado como la de las paredes en el interior de un túnel, se inicia con un $Re = 1.000$ y al aire libre se inicia con un $Re = 1.000.000$. La relación **densidad/viscosidad** con la dimensión del objeto es diferente a lo que sucede a escala real. Para que un resultado obtenido en un túnel pueda ser aplicado a un objeto a escala real deben hacerse difíciles correcciones, que siguen siendo aproximaciones. A manera de ejemplo de lo expresado; para que el aire en el interior de un túnel, actúe en la misma forma que como el que muestra la foto, gentileza de N.A.S.A. el aire normal actúa sobre el ala verdadera de cuerda 1,20 metros, un modelo de 12,5 cm de cuerda debe ser ensayado con un aire que tenga 20 veces la densidad que tiene el aire libre.

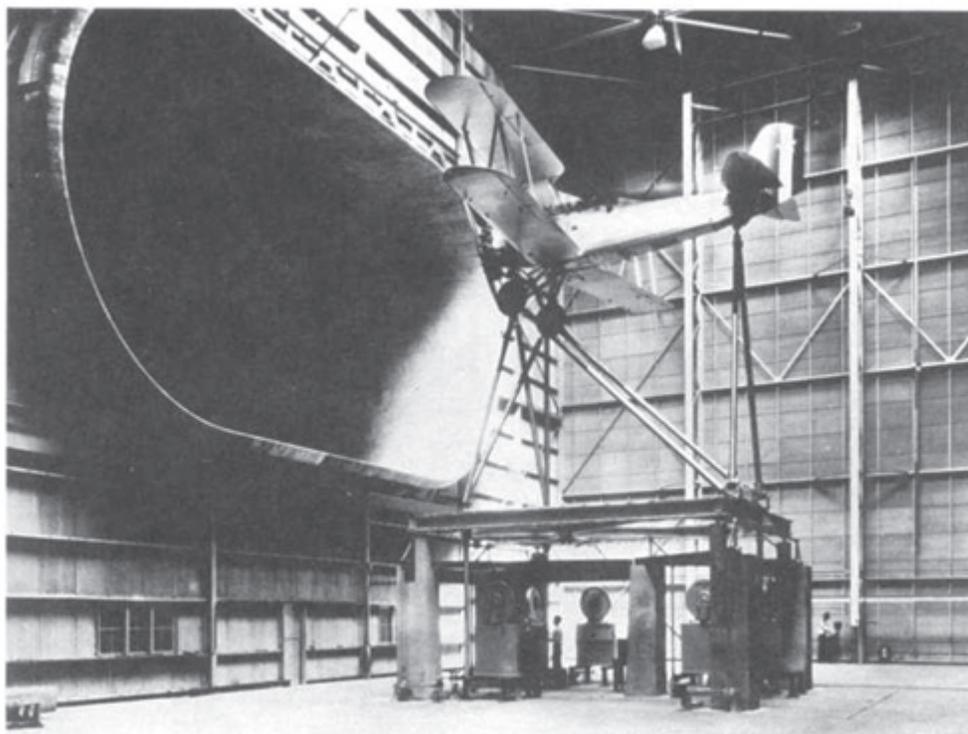
Para poder llevar a cabo ensayos con resultados más aproximados a la realidad se inventó un túnel de viento capaz de modificar la densidad del aire,



Put into operation at Langley in 1922, the Variable Density Tunnel was the first pressurized wind tunnel in the world. It could achieve more realistic effects than any previous wind tunnel in predicting how actual aircraft would perform under flight conditions. Today it is a National Historic

Credits - NASA

Posterior a este túnel se optó por construir enormes túneles de ensayo para objetos a escala real. El que se muestra en la foto siguiente está en el Langley Memorial Aeronautical Laboratory e la National Advisory Committee for Aeronautics, NACA antecesor de lo que ahora es la NASA. Estos túneles permitieron verificar los sistemas de correcciones de túneles de menor dimensión, pero por costo o por necesidad de mayores velocidades estuvieron poco tiempo en uso.



A Vought O3U set up for tests using the full scale wind tunnel at Langley, completed in 1931.

Credits - NASA

Los valores de alzamiento y arrastre obtenidos en distintos ángulos de inclinación y en distintos tipos de alas de aviones fueron registrados y pasaron a ser las características físicas de cada perfil.

Las características físicas de cada perfil ensayado son utilizadas para el diseño y fabricación de aviones. Esto que parece obvio es necesario mencionarlo gruesos errores se han cometido por aplicar directamente estos valores en otras disciplinas, como las velas nuestras.porque

2.- Objeto de los ensayos

Existen muchos autores expertos en mecánica de fluidos que han empleado túneles de viento para el estudio del comportamiento de objetos afectados por un flujo de aire como por ejemplo, aspas de molinos, álabes de turbinas, cilindros como chimeneas, objetos aerodinámicos de distintas formas, automóviles, etcétera, sin embargo son pocos los que han orientado sus estudios al análisis de nuestras velas y que los hayan dado a conocer.

El empleo de túneles de viento ha sido aplicado a la navegación a vela obteniendo interesantes conclusiones, pero que no son aplicables directamente a lo que sucede a las velas cuando actúan en ambientes libres.

Lamentablemente en la mayoría de los ensayos y libros orientados a las velas publicadas, en que se ensayan perfiles que simulan velas o sistemas de velas, se emplearon criterios similares a los empleados hace un siglo atrás para las alas de aviones, tal como se explica en detalle en un capítulo de estos apuntes. Es decir, la incidencia siempre está referida a la orientación de la cuerda, como en las alas de aviones, que como expresamos anteriormente induce a errores.

Nuestro objetivo, al recurrir a ensayos en túnel de viento para analizar perfiles curvados unidimensionales ha sido ampliar los ensayos que muestran algunos autores, y formarnos una idea propia del comportamiento de los diferentes perfiles ensayados con incidencia de viento que empleamos cuando

navegamos o sea la incidencia referida a la tangente a la curvatura inicial de la vela y no a la cuerda del perfil.

Son interesantes las conclusiones que aparecen al ver cómo varía el alzamiento y arrastre y el cociente entre estas características con las pequeñas variaciones de ángulo de cazado en las que normalmente caemos cuando navegamos distraídamente.

También es interesante verificar las variaciones en el alzamiento y arrastre, y en el cociente de estas características de los perfiles cuando tienen diferente profundidad y cuando tienen distinta posición de esta profundidad.

Finalmente hice ensayos para determinar lo que sucede con la potencia y el arrastre cuando aplanamos una vela.

Debo agregar que fue para mí una enorme sorpresa descubrir que los perfiles que más se ven en el mercado de las velas y de las formas que buscamos al aplicar los ajustes no son las más eficientes para los rangos de viento que tenemos cuando navegamos. Verán que las velas con profundidades ubicadas a más del 50%, para esas velocidades de viento son lejos más eficientes que las que nos indican normalmente los actuales textos.

Siendo esto una afirmación que altera el concepto de la forma de las velas tradicionales, sacrifiqué una de mis velas llevando la profundidad al 60%. Debo informarles que el cambio fue importante en la potencia y mi bote logró velocidades que antes nunca tuvo con las velas con la profundidad al 35 o 40%.

Participé en regatas con vientos medios, cercanos a lo 14 nudos y pude comprobar en el agua que las conclusiones de los ensayos eran efectivos y plenamente aplicables cuando navegamos.

Recientemente, y con un poco de vergüenza por la mala apariencia de mi vela “Frankenstein” participé en una regata nacional y obtuve el primer lugar.

Al mirar muchas fotos de regatas de Laser, pude observar que los laseristas exitosos, los que van en punta, los consagrados, emplean en sus botes, para determinadas condiciones de viento, formas con la mayor profundidad más a popa en las ceñidas. Probablemente ni siquiera se han detenido a analizar que al tensar el boomvang en exceso, como comúnmente vemos, llevan la máxima profundidad más a popa por pérdida de la profundidad en la zona baja pegada al mástil.

Al consultarles sobre esta forma de vela que se logra al emplear los ajustes, contestaron que simplemente sentían mejor el bote.

Debo reiterar que el mejor rendimiento con una vela con profundidad más retrasada, se debe al aumento de la sustentación y más que nada a la disminución del arrastre.

Los que están aprendiendo a navegar en cualquier clase de bote, los que están en el montón, y que aun no tienen la sensibilidad o la experiencia de los que han hecho de la navegación una profesión, pero que desean ser los mejores, deben entender que sólo una forma de vela es útil para una condición de viento, de mar, de peso de la embarcación, y que encontrar esa forma no es sólo sensibilidad sino la aplicación de conocimientos técnicos.

En estos apuntes he tratado de determinar y resumir conceptos técnicos que me hubiera gustado recibir en la época en que traté de participar en regatas importantes. Estoy consciente que esto es sólo el inicio a investigaciones que espero se pueda desarrollar en el futuro para mejorar aun más este aporte hecho con los escasos instrumentos y medios con que he contado.

Pero los conocimientos no sólo hay que tenerlos sino que además saberlos aplicar en el agua, para lo cual es necesario navegar mucho bajo distintas condiciones de viento y olas y bajo distintas presiones, o sea en prácticas y en regatas.

Los que ganan regatas saben de velas, de formas y también de técnicas y tácticas de regatas, de saber partir, de anticiparse a las variaciones del rumbo del viento. La suma de la correcta aplicación de conocimientos, sin duda entrega frutos, pero tener un motor más poderoso que el resto de la flota hace

la enorme diferencia cuando los competidores son todos experimentados.

Debo decir que aun cuando los valores de los resultados de los ensayos que expondré no son aplicables directamente a lo que sucede en una vela a escala real sin aplicar correcciones de semejanza o similitud dinámica, la comparación entre ellos cuando se analizan los efectos de turbulencia son plenamente aplicables y sus conclusiones totalmente válidas, tal como pude comprobarlo.

En estos ensayos emplee velocidades de 6 y 10 metros por segundo. En el túnel de la Universidad es difícil lograr velocidades menores a las ideales para estos ensayos, porque fue ideado para la aeronavegación.

Con un viento de 6 metros por segundo (12 nudos) a 15° de temperatura, las turbulencias en la superficie de una vela real, se inician a una distancia de 2 metros medidos desde el punto de ataque, y con 10m/s se inicia a 1,25 m.

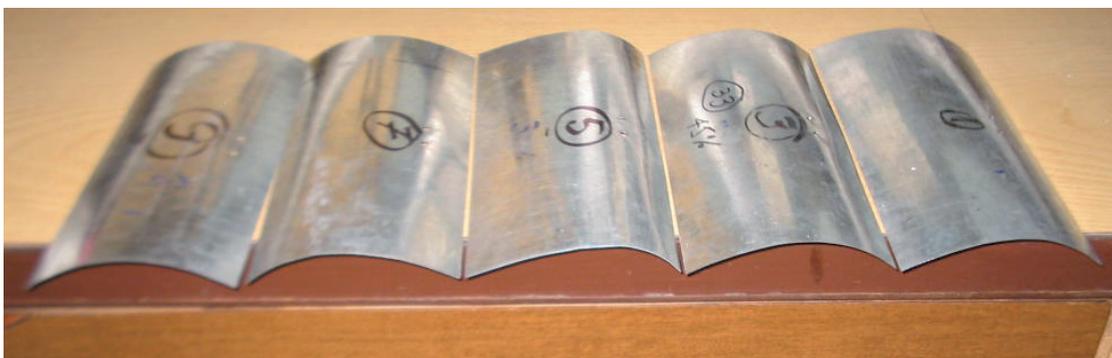
En nuestro modelo a escala las turbulencias se inician a los 2 cm y a 10 m/s a los 1,25 cm.

Pero como todo en el comportamiento del aire, las condiciones depende de muchos factores y seguiré diciendo que son valores aproximados.

3.- Descripción de los ensayos.

Los perfiles ensayados, que tienen forma rectangular de 12 cm de ancho y 24 cm de largo. Pueden dividirse en dos grupos principales que llamaremos perfiles profundos, entre 16 y 17% y el otro los llamaremos perfiles planos 10% con algunas variaciones

Perfil 1		17,7% a 53%
Perfil 3		16,3% a 44,6%
Perfil 5		16,3% a 30%
Perfil 7		16,3% a 60%
Perfil 9		17,7% a 50%



La foto muestra los perfiles profundos ensayados, con las características geométricas indicadas en el cuadro anterior, que están puestos sobre una mesa y tienen los números empleados en las anotaciones.

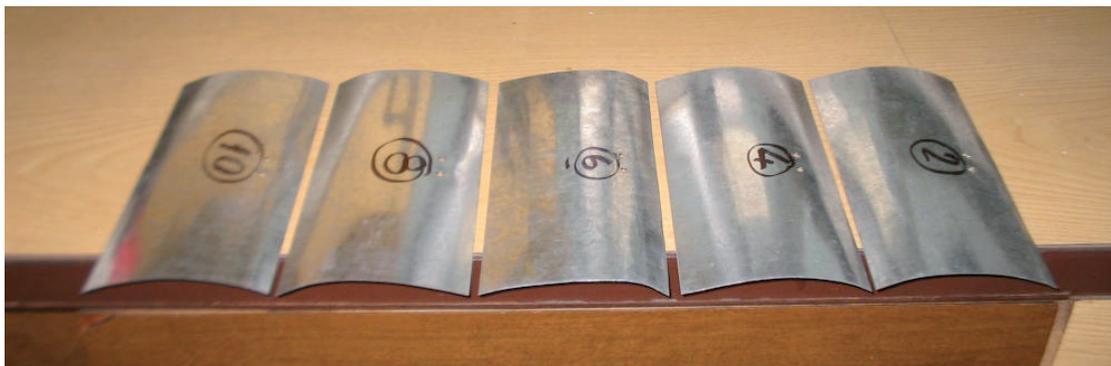
Para determinar sus características o propiedades se hicieron dos ensayos a velocidades de viento de 6 m/seg(11,7 nudos) y 10 m/seg (19,4 nudos) que equivalen aproximadamente a 12 y 20 nudos, medido con un anemómetro de flujo, anotándose para cada caso el alzamiento y el arrastre.

Los siguientes perfiles, fueron hechos con más rigor, empleando una máquina de rodillos giratorios para que tuvieran la misma profundidad.

Perfil 11		16.8% a 40%
Perfil 33		16,8% a 45%
Perfil 55		16,8% a 35%
Perfil 77		16,8% a 55%
Perfil 99		16,8% a 50%

El segundo grupo de perfiles delgados tienen más del 10% de profundidad, y al igual que el primer grupo, también tienen distinta posición de la profundidad, según la foto y el croquis siguiente:

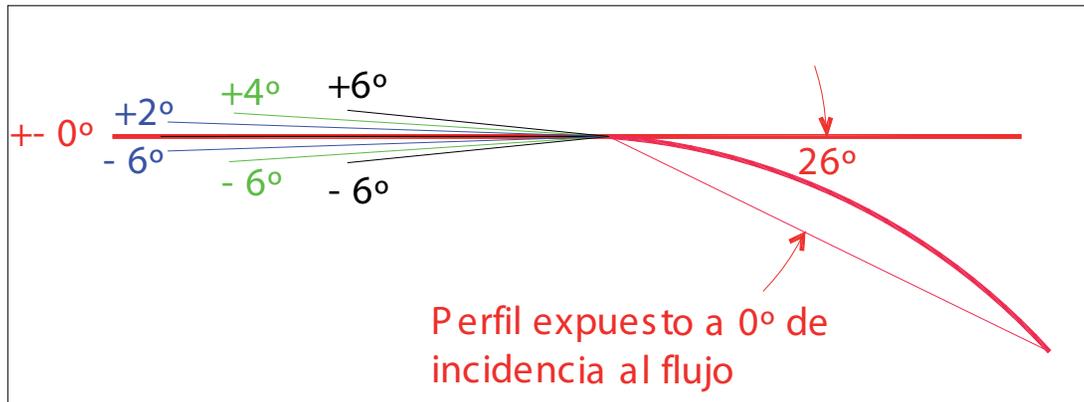
Perfil 2		10,5 % a 52,3 %
Perfil 4		10,3 % a 44 %
Perfil 6		10,6% a 31 %
Perfil 8		10,7 % a 60,7 %
Perfil 10		10,7 % a 50 %



En la aeronavegación los ensayos se hacen analizando el comportamiento de las características del perfil ensayado con distintas velocidades y con distintos ángulos de inclinación, referidos a la cuerda geométrica del perfil, sin importar la forma de la zona de ataque.

En nuestro caso, la incidencia cero del flujo de aire se hace a partir de la tangente a la curvatura inicial del perfil sin considerar el ángulo de la cuerda.

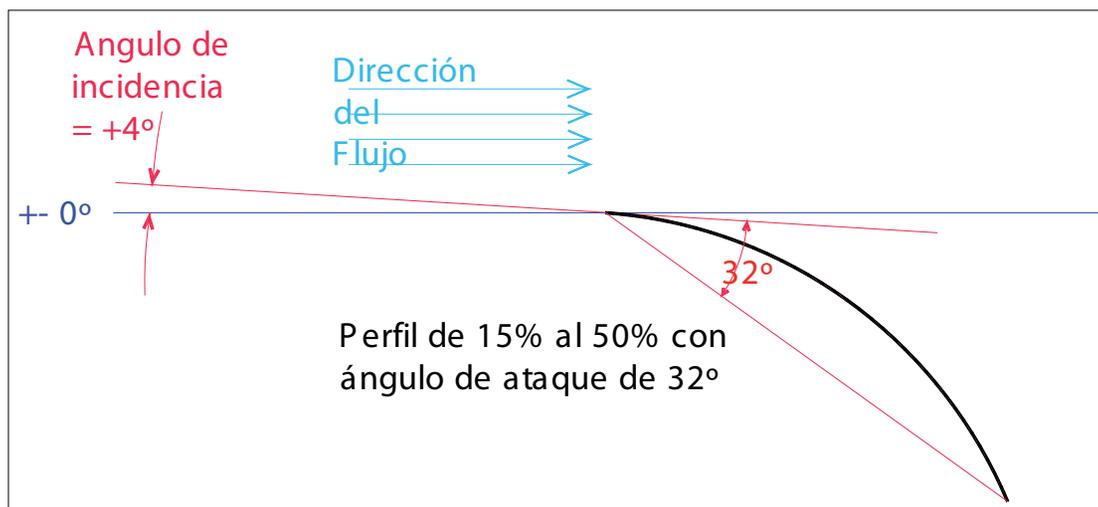
color



He adoptado este sistema porque es el que empleamos cuando navegamos, y que es independiente del ángulo de ataque del perfil empleado.

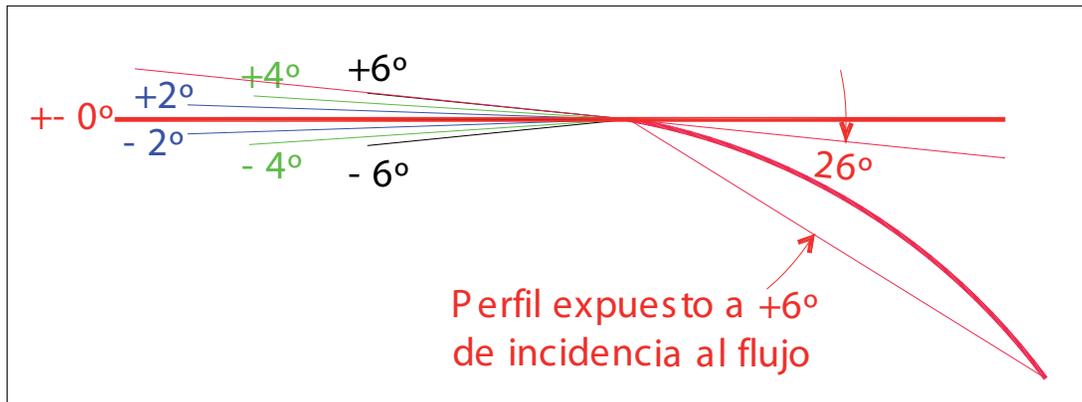
Si la parte posterior del perfil descende, la incidencia del viento aumenta, sin embargo el ángulo de ataque del perfil permanece inalterable con cualquier incidencia del viento.

El croquis siguiente nos muestra una sección de un perfil de 15% al 50% que tiene un ángulo de ataque de 32° , que corresponde a la diferencia de dirección entre la cuerda y la tangente a la curva de la vela en el punto de ataque, y cuya inclinación respecto al flujo es de $+4$ grados. Cuando estamos navegando, este pequeño ángulo corresponde a una posición de una vela con exceso de cazado.



El croquis siguiente nos muestra un perfil de menor profundidad que tiene un ángulo de ataque de 26° expuesto a un flujo de aire que tiene $+6^\circ$ de incidencia.

color



Como se puede apreciar, la diferencia de cero a seis grados es muy poco sin embargo, como veremos en los ensayos efectuados, la variación en el trimado del perfil en ese escaso margen tiene un enorme efecto sobre el arrastre, que aumenta según la forma de la vela y la velocidad del viento en un importante porcentaje.

Al revisar los valores de los ensayos, podrán comprobar el daño que se provoca a la potencia generada por la vela cuando no llevamos la vela de acuerdo con la incidencia justa del viento que se producen por inestabilidad del viento aparente o por distracción del timonel.

Es interesante saber como se comporta realmente un perfil que tiene igual profundidad y distinta posición de esas profundidades. Esto es lo que hacemos cuando estamos navegando y aplicamos ajustes para aplanar o dar más bolsa a la vela. Se modifica la posición de la profundidad cuando se modifica la tensión del cunningham, y cuando se aumenta la tensión del boomvang. Esta última acción además aumenta la profundidad y traslada la posición de la profundidad.

Está claro que sólo tenemos acceso, a través de la información que nos entrega el túnel de viento, a saber el comportamiento de un perfil o de una sección y no para el total de la vela en toda su altura, que es la suma de perfiles, pero aun así estos ensayos nos darán una idea valiosa de lo que sucede con cada forma.

Recordemos que el viento no es el mismo para todas las secciones de una vela ya que este aumenta con la altura.



Los perfiles empleados en el túnel fueron construidos con plancha lisa de acero galvanizado rectangulares de 12x 24 cm, de 0,50 milímetros de espesor y afianzados al pilar que detecta esfuerzos horizontales o arrastre y verticales o alzamiento, que es la suma de la presión directa más la sustentación.

El afianzamiento de la placa al pilar de ensayo en el interior del túnel se ubicó a 25 mm del punto de ataque que equivale al primer cuarto de la cuerda. Recordemos que a 25% de la cuerda se ubica el centro geométrico de presión en los perfiles aerodinámicos bidimensionales, y me pareció acertado emplear el mismo criterio para los perfiles planos.

Me hubiera gustado que los primeros 5 perfiles profundos y los planos quedaran todos iguales para que la comparación hubiese sido más exacta, sin embargo para lo que se pretende las pequeñas diferencias de profundidad enriquecieron la muestra más que perjudicarla.

El N° de Reynolds para estos primeros ensayos a 11,7 nudos es = 40.450 o sea la capa límite es turbulenta a partir de los 20 milímetros hacia atrás aproximadamente. Dentro del túnel de viento a estos rangos de velocidad se provocan diferencias de presión, o sea el alzamiento es por vacío y por presión directa.

Es importante entender este detalle porque equivale a que una vela de tamaño real tenga por sotavento el inicio del desprendimiento de la capa límite a partir del 10% de la cuerda medido desde el borde de ataque. Esto ocurre en nuestras velas cuando tenemos exceso de curvatura pegada al mástil o gratil de la vela (cunningham muy cazado o muy tenso) o cuando el viento es excesivo y a pesar de aplanar al máximo no logramos llegar a la profundidad límite.

Debo recalcar entonces que estos ensayos, a pesar de la baja velocidad escogida nos entregarán conclusiones en el marco de viento fuerte pero que por las tendencias podremos aventurarnos a sacar conclusiones para vientos menores.

4.- Resultado de los ensayos

4.1.- Perfiles profundos (Re = 40.450)

Perfiles ensayados en túnel a 6 m/seg (11,7 nudos)

Perfil	Nº	/Grados	-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	6
16,3 a 30%	5	Alzamiento	70	68	67	65	65	64	62	63	80	70	60
		Arrastre	123	132	132	135	135	135	138	138	138	140	150
		Alzam/ Arrast	0,569					0,47	0,449		0,58	0,5	0,4
16,8 a 35%	55	Alzamiento	65	67	70	78	73	65	60	55	50		
		Arrastre	115	120	125	125	128	130	133	135	140		
		Alzam/ Arrast					0,57	0,5	0,451				
16,8 a 40%	11	Alzamiento	75	75	75	70	70	70	67	65	60	55	
		Arrastre	100	105	105	100	108	115	117	120	125	130	
		Alzam/ Arrast				0,7		0,61	0,573		0,48		
16,3 a 44,6%	3	Alzamiento	73	75	76	77	80	80	80	80	82	85	79
		Arrastre	85	90	92	95	105	100	105	110	111	112	118
		Alzam/ Arrast	0,859					0,8	0,76				0,635
16,8 a 45%	33	Alzamiento	70	70	70	70	60	65	63	60	60	55	
		Arrastre	98	100	110	110	110	110	112	115	120	128	
		Alzam/ Arrast							0,562		0,5		
16,4 a 50%	9	Alzamiento	85	80	83	85	85	85	85	80	80	75	72
		Arrastre	85	91	93	95	97	100	100	105	110	115	120
		Alzam/ Arrast			0,89	0,89		0,85	0,85				

16,8 a 50%	99	Alzamiento	75	75	73	70	70	70	70	70	66	66	60
		Arrastre	90	96	98	100	102	105	108	110	112	116	118
		Alzam/ Arrast	0,833			0,7			0,648				0.508
17,7 a 53%	1	Alzamiento	80	80	80	80	80	80	80	75	75	70	69
		Arrastre	97	100	105	107	110	116	120	120	122	124	127
		Alzam/ Arrast						0,69	0,667				
16,8 a 55%	77	Alzamiento	80	80	80	80	76	75	72	70	70	70	66
		Arrastre	88	92	93	95	98	102	102	102	105	110	115
		Alzam/ Arrast							0,706				
16,3 a 60%	7	Alzamiento	80	85	85	90	85	80	80	80	80	80	80
		Arrastre	80	85	90	92	92	95	95	100	103	105	108
		Alzam/ Arrast		1					0,842				

Al observar los resultados, debemos destacar un importante detalle, que corresponde a la mejor relación **Alzamiento / Arrastre** de todos los perfiles con ángulos de incidencia negativos o menores de la justa incidencia. Nuestras velas son flexibles y no permiten ángulos de incidencia menores a 0° (cero grado) porque el gratil comienza a deformarse, o inflarse al revés. A pesar de lo anterior, los valores de ensayos con incidencia negativa se insertaron para determinar tendencias a medida que cambia el ángulo de incidencia.

Este importante detalle, tal como veremos, se repite en todos los perfiles ensayados sin importar forma ni velocidad y nos lleva a una importante conclusión: Si usamos full batten, como las velas de Windsurf, podemos navegar con incidencias negativas y por lo tanto a optar a relaciones Alzamiento / Arrastre superiores y por lo tanto más potencia con menos arrastre.

Sin embargo para simplificar las conclusiones, haré una comparación de las características físicas cuando la incidencia del flujo es la justa, es decir cuando el flujo ingresa justo tangente a la primera parte de la curvatura del perfil. Con más paciencia se puede hacer otras comparaciones.

Perfiles profundos (16,3% y 16,8%) con Re. = 40.450

Si la comparación, con incidencia justa del viento, o sea con 0 grado de incidencia, se hace en los que son ligeramente menos profundos, (dentro del mismo grupo) vemos que la relación **Alzamiento / Arrastre** varía de la siguiente manera:

<u>A/A =</u>	<u>Perfil N°</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Arrastre</u>	<u>Alzamiento</u>
0,47	5	16,3 a 30%	135	64
0,80	3	16,3 a 44,6%	100	80
0,85	9	16,4 a 50%	100	85
0,842	7	16,3 a 60%	95	80

Los que tienen una profundidad 16,8% entregaron el siguiente resultado:

<u>A/A =</u>	<u>Perfil N°</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Arrastre</u>	<u>Alzamiento</u>
0,50	55	16,8 a 35%	130	65
0,61	11	16,8 a 40%	115	70
0,591	33	16,8 a 45%	110	65
0,667	99	16,8 a 50%	105	70
0,735	77	16,8 a 55%	102	75

¿Qué conclusiones podemos sacar de este ensayo?

Otra importante conclusión salta a la vista: Cuando variamos la posición de la profundidad más hacia el borde de fuga o más a popa, lo que estamos logrando, más que aumentar la potencia es disminuir el arrastre.

Esta importantísima observación nos cambia radicalmente el escenario, porque siempre estamos hablando de la potencia de la vela, de formas de vela que son mejores que otras porque tienen más potencia, relegando el arrastre a un segundo término y a veces ni siquiera lo consideramos. Este ensayo nos enseña que eliminar el arrastre es más importante para ir más rápido que la potencia que siempre se genera en nuestras velas si están bien orientadas.

¿Que podemos decir del alzamiento?

Sabemos que el Re del ensayo nos indica que tenemos separación del flujo por sotavento del perfil apenas a 1 cm del borde de ataque. También sabemos, por lo que vimos en capítulos anteriores, que con mayor profundidad o con mayor curvatura el flujo por sotavento se desprende antes que en uno más plano.

También sabemos, que con flujos turbulentos no se puede generar sustentación por sotavento. Vemos confirmado lo que explicamos en su momento, que si los perfiles tienen la mayor curvatura muy cerca del borde de ataque se corre el peligro de iniciar tempranamente la separación y pérdida de la sustentación.

Este hecho nos explica, para este caso, el ligero aumento en la sustentación de los perfiles que tienen menos profundidad, que son más planos cerca del borde de ataque, y por lo tanto retrasan la separación del flujo y pueden generar sustentación en una mayor superficie de sotavento. Aun así la sustentación por sotavento en estos ensayos muestra escaso aporte. Si quisiéramos determinar el comportamiento de la sustentación en estos perfiles, deberíamos ensayarlos considerando la definición de profundidad límite. Está claro que en un túnel de viento es prácticamente imposible lograrlo con algún grado de exactitud, al menos con los reducidos equipos con que contamos.

Para que el flujo no se desprenda por sotavento de nuestros perfiles de cuerda 12 cm, en un túnel de viento, la velocidad del flujo debe tener del orden de 0,3 metros por segundo. A esa velocidad los sensores apenas marcarían arrastre y sustentación.

En estos ensayos lo que más detectamos es el comportamiento de la acción del viento por presión directa y por el vacío que provocan los perfiles por sotavento, o sea veremos alzamiento como en los perfiles de aviones, que como sabemos no corresponde a la sustentación por acción mecánica del viento al ser desviado de su rumbo original. Eso explica la poca variación del alzamiento.

Observando los resultados de estos ensayos, llama poderosamente la atención que el arrastre aumenta significativamente en perfiles con la curvatura adelante. Eso se debe a que los perfiles puestos en el soporte con incidencia cero grados, presentan una mayor proyección en el sentido del flujo y por lo tanto mayor arrastre. Llama la atención que no generaran mayor alzamiento que los que tienen la profundidad más atrás y por lo tanto menos proyección.

La relación Arrastre/ Alzamiento indica una clara superioridad de los perfiles con mayor profundidad más retrasada o más a popa.

Los planeadores están empleando en sus alas perfiles con la mayor profundidad más atrás. Ellos los llaman perfiles laminares y aseguran que tienen mejor rendimiento. Es entendible porque a la velocidad que vuelan el flujo no es laminar sino turbulento y una vez más decimos que tienen mayor proyección a la acción directa del flujo.

Estuve observando la forma de mi vela mayor con la profundidad al 60% mientras navegaba en un mar plano con viento de 18 a 20 nudos. Les debo la foto, pero la primera parte de la vela, quizás hasta un tercio de la cuerda mantuvo una forma más aplanada que el resto, y los dos tercios restantes de mayor profundidad asumieron el mayor trabajo para aportar potencia.

Tuve la impresión que el efecto logrado era equivalente a reducir la cuerda de la vela o sea tener una vela con una mejor relación de aspecto, que es la ideal para no tener tanto arrastre con vientos que comienzan a ser fuertes.

Como esto era previsible, antes de entrar le quité caída al mástil para evitar la tendencia a orzar, pero aun con el bote plano esa tendencia se mantuvo, por lo que fue necesario abatir parte de la orza. Cuando el viento aumento hasta los 26 nudos, medidos por Miguel en su yate “Tenglo” fue necesario esconder casi toda la orza, pero pude navegar manteniendo el equilibrio del viejo Priwall.

Anteriormente traté de navegar con una vela con el bolso más adelante, que es lo que siempre hacemos cuando sube el viento, tensando mucho el cunningham y aplanando la vela para “disminuir potencia” pero me costó mucho más que con la vela con el bolso al 60%.

Nota importante: A partir de ahora escribiré y diré: que aplané la vela para “disminuir arrastre”, no para “disminuir potencia”

4.2.- Perfiles ensayados a 10m/seg (20 nudos)

(Re = 67.416)

Perfil	Nº	/Grados	-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	6
16,8 a 35%	55	Alzamiento	100	100	100	100	120	145	165	180	190	200	200
		Arrastre	160	160	160	165	165	170	160	180	190	200	250
		Alzam/ Arrast	0,625	0,625	0,625		0,727		1,03	1	1	1	0,8
16,8 a 45%	33	Alzamiento	120	112	110	110	110	110	105	107	100		
		Arrastre	130	140	145	148	149	150	152	155	160		
		Alzam/ Arrast		0,8	0,758	0,74	0,738		0,69	0,69	0,62		
16,8 a 50%	99	Alzamiento	120	118	115	112	112	112	112	110	105	100	110
		Arrastre	120	125	136	138	140	145	150	150	155	156	156
		Alzam/ Arrast		0,944	0,845		0,8	0,77		0,677	0,641		
16,8 a 55%	77	Alzamiento	120	125	120	120	120	120	118	118	118	115	115
		Arrastre	112	125	127	130	135	140	148	148	150	150	150
		Alzam/ Arrast	1,07	1	0,945		0,889			0,787	0,767		

Lo más destacable de este ensayo, bajo estas condiciones de viento, es el constante aumento del Alzamiento y del Arrastre del perfil N° 55 (**16,8 a 35%**) y de la manutención de la relación Alzam/Arrastre cuando está en posición de sobrecazado hasta los 4 grados.

Podríamos concluir rápidamente que el perfil con la profundidad más adelante es lejos superior al resto de los perfiles con profundidad más retrasada cuando el viento es fuerte.

La conclusión válida que podemos sacar de este ensayo es que con exceso de profundidad, muy por sobre la profundidad límite, los perfiles con la profundidad adelante son menos malos que los que tienen la profundidad retrasada.

Con un Re. = 67.416 la posibilidad de generar sustentación por sotavento en un túnel de viento es mínima. Es lo que nos ocurre navegando, cuando el viento sobrepasa los 30 nudos y tenemos exceso de profundidad.

Esto explica lo que los expertos aconsejan cuando sopla fuerte, que aplanan la vela y andan mejor con el cunningham totalmente tensado o sea con la máxima profundidad muy adelante. Anteriormente dijimos que tensando al máximo el cunningham se aumenta el ángulo de ataque y es una buena forma para achicar la vela, de esconder parte del gratil detrás del mástil o “windage”.

Ahora podemos agregar que además se puede navegar sin modificar las características de la vela

modificando la incidencia del viento hasta cuatro grados de exceso de cazado.

Obviamente la solución en el agua, cuando el viento sobrepasa los 30 nudos es achicar el paño de la vela o disminuir la cuerda ojalá hasta lograr la profundidad límite.

Comparación de perfiles profundos a 20 nudos, $Re = 67.416$

Si la comparación, con incidencia justa del viento, o sea con 0 grado de incidencia, vemos que la relación **Alzamiento / Arrastre** varía de la siguiente manera:

$A/A =$	Perfil N°	Profundidad	Arrastre	Alzamiento
0,852	55	16,8 a 35%	170	145
0,733	33	16,8 a 45%	150	110
0,77	99	16,8 a 50%	145	112
0,857	77	16,8 a 55%	140	120

La conclusión única es que con exceso de profundidad las opciones siempre son malas y da lo mismo la posición de la profundidad.

Analicemos los ensayos con distinto Re o con distintas velocidades

Para el perfil N° 55, 16,8 a 35%

Con 12 nudos, $A/A = 0,50$ alzam. = 65 arrastre = 130

Con 20 nudos, $A/A = 0,852$ alzam. = 145 arrastre = 170

$0,852 : 0,5 = 1,70$ veces... 2,23 veces 1,3 veces...

Para el perfil N° 33, 16,8 a 45%

Con 12 nudos, $A/A = 0,591$ alzam. = 65 arrastre = 110

Con 20 nudos, $A/A = 0,733$ alzam. = 110 arrastre = 150

$0,733 : 0,591 = 1,24$ veces... 1,69 veces 1,36 veces...

Para el perfil N° 77, 16,8 a 55%

Con 12 nudos, $A/A = 0,735$ alzam. = 75 arrastre = 102

Con 20 nudos, $A/A = 0,857$ alzam. = 120 arrastre = 140

$0,857 : 0,735 = 1,17$ veces... 1,60 veces... 1,37 veces...

Para esta profundidad y con vientos medio y fuerte, la relación A/A nos indica que la profundidad de la vela debe estar más a popa, ($A/A = 0,735$) pero sobre 25 nudos (velocidad estimada) a pesar que todavía se obtiene mayor potencia útil empleando la profundidad más a popa, se nota una clara tendencia que sobre esa velocidad el perfil 16,8 a 35% sobrepasará esa ventaja y será preferible su empleo a las de profundidad más retrasada o definitivamente achicar paño.

Podemos ver que para cualquier perfil, cuando aumenta el viento al doble el arrastre aumenta en todos los perfiles de similar profundidad prácticamente en similar proporción, pero los que tienen la profundidad más adelante duplican el alzamiento, pero no nos equivoquemos, porque desde un muy bajo alzamiento sube hasta igualar a los que tienen la profundidad retrasada.

Esto corrobora lo que ya sabemos. Cuando navegamos con viento muy fuerte con una vela embolsada en exceso siempre es una mala opción y da lo mismo donde se encuentre la profundidad, y con

vientos bajos, con exceso de profundidad, que sigue siendo una mala opción, es menos malo optar por una forma de vela que tenga la ubicación de la mayor profundidad más a popa.

Por esto es importante en ningún caso, abandonar el concepto de profundidad límite. Si lo sobrepasamos estamos en presencia de un arrastre que siempre será superior al alzamiento. Como veremos a continuación, al ensayar perfiles más planos a la misma velocidad se obtuvieron resultados muy superiores en alzamiento y en relación Alzamiento / Arrastre. Esto no puede leerse o interpretarse mal. No puede concluirse que una vela más plana genera más alzamiento que una con mayor profundidad. La enseñanza clara es que nunca debe emplearse una mayor profundidad que la profundidad límite.

Ahora podemos entender de mejor forma las erróneas explicaciones rescatadas de los ensayos de túneles de viento que han llevado a los fabricantes de velas privilegiar las formas con la ubicación de la máxima profundidad muy adelante.

En un túnel de viento siempre va a ocurrir que la mayor velocidad del flujo, o sea la menor presión, se produce en el mayor angostamiento y eso se produce al inicio de la curvatura del perfil. Esto se ve acentuado cuando se trata de perfiles con volumen o sea de secciones bidimensionales, como las alas de avión.

Tal como veremos en el próximo capítulo, los primeros ensayos en túneles de viento se hicieron con el fin de determinar los perfiles que generaran mayor alzamiento y menos arrastre para el diseño de aviones. Estos ensayos siempre fueron hechos con velocidades de viento del orden de los ¡30 metros por segundo! O sea casi 60 nudos de viento en modelos a escala.

Si hacemos un rápido cálculo estimado de lo que significa ese viento para una vela a escala real les puedo decir que equivale a que una vela esté expuesta a un viento huracanado.

¿Que conclusión válida para nuestras velas se puede rescatar a esas velocidades? Respuesta: ¡Ninguna!

4.3.- Perfiles planos (Re = 40.450)

Perfiles ensayados en túnel a 10 m/seg (20 nudos)

Perfil	Nº	/Grados	-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	6
10,6 a 31% 110	6	Alzamiento			120	120		120		115		120	
		Arrastre	136	140		150		160		165		170	
		Alzam/ Arrast	0,88	0,86			0,8		0,72		0,73		0,65
10,3 a 44% 130 125	4	Alzamiento			120	130	130	135	135	140	130	130	130
		Arrastre	85	100	115	120	125	130	132	138	142	145	150
		Alzam/ Arrast	1,41	1,3	1,13	1,12	1,08	1,08	0,98	0,94	0,92	0,9	
0,83													
10,7 a 50% 125 120	10	Alzamiento			120		122	122		125		125	
		Arrastre	96		110	120		122		128		138	148
		Alzam/ Arrast	1,25		1,11	1,02		1,02		0,98		0,91	
0,81													
10,5 a 52,6% 135 140	2	Alzamiento			100	115	120	125		135		135	
		Arrastre	82	90		100		110		120		140	145
		Alzam/ Arrast	1,22	1,28			1,25		1,23		1,13		0,96
0,96													
10,7 a 60,7% 135 140	8	Alzamiento			110	115		125		130	130	130	135
		Arrastre	70	74		80		90	95	95	100	108	120
		Alzam/ Arrast	1,57	1,55			1,56		1,44	1,37	1,37	1,35	1,25
1,17													

Perfiles ensayados en túnel a 6 m/seg (11,7 nudos)

Perfil	Nº	/Grados	-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	6
10,6 a 31%	6	Alzamiento		75	76	77	80	80	80	80	82	85	79
		Arrastre		90	92	95	100	100	105	110	111	112	118
		Alzam/ Arrast		0,83	0,83	0,81	0,8	0,8	0,76	0,73		0,76	0,67
10,3 a 44%	4	Alzamiento	85	90	90	90	90	90	80	80	82	80	75
		Arrastre	90	98	100	103	104	105	110	113	115	120	126
		Alzam/ Arrast		0,92	0,9	0,87	0,86		0,73	0,71		0,67	0,6
10,7 a 50%	10	Alzamiento	73	78	78	78	78	80	80	80	80	80	76
		Arrastre	75	82	84	85	88	92	95	98	100	103	106

Alzam/ Arrast 0,97 0,95 0,93 0,92 0,87 0,84 0,82 0,8 0,78 0,83

10,5 a 52,6% 2 Alzamiento 65 68 68 70 75 76 78 82 84 85 85
 Arrastre 60 65 67 70 70 72 75 82 84 85 90
 Alzam/ Arrast 1,08 1,04 1,01 1 1,07 1,04 1 1 1 0,94

10,7 a 60,7% 8 Alzamiento 75 75 78 80 82 85 85 85 85 88
 Arrastre 70 70 75 80 82 85 87 90 90 94
 Alzam/ Arrast 1,07 1,07 1,04 1 1 1 0,98 0,94 0,94

Vemos inmediatamente que en los perfiles más planos, aun cuando se produce un escaso aumento del alzamiento se produce una importante disminución del arrastre comparada con los de mayor profundidad.

Podemos afirmar que una vela profunda genera más arrastre que una plana.

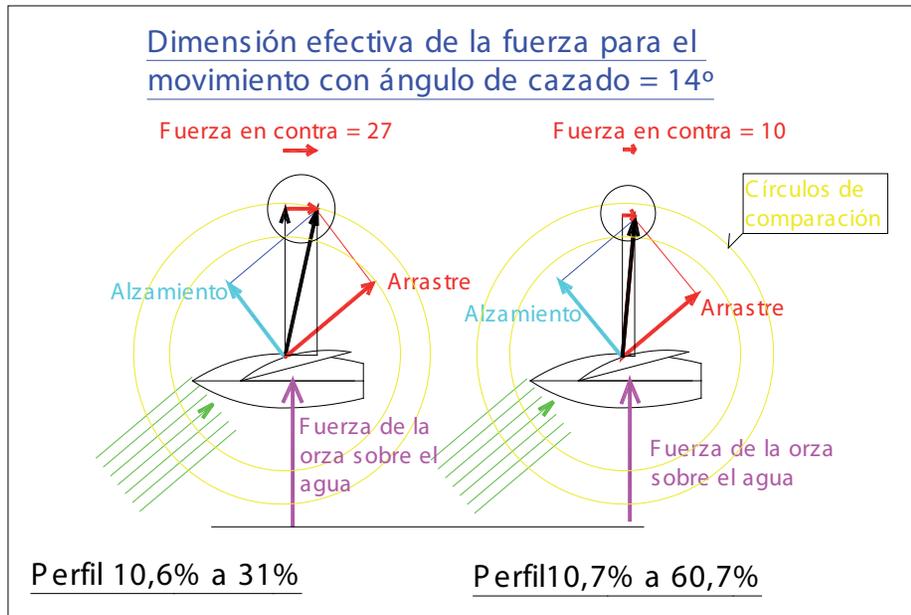
Vemos además que la potencia útil reflejada en la relación Alzamiento / Arrastre mejora notablemente en los perfiles más planos. No podemos determinarlo exactamente, pero por los resultados, esta menor profundidad se acerca más a la profundidad límite. Esta tendencia, como veremos más adelante, mejora notablemente cuando aumenta la velocidad del flujo.

Analizaremos al igual que con los perfiles de mayor profundidad el comportamiento de los distintos perfiles cuando la incidencia del flujo es justa o sea a 0°.

Resumen a 0° de incidencia

Perfiles planos a 12 nudos (11,7 nudos) con Re. = 40.450

<u>A/A =</u>	<u>Perfil N°</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Alzamiento.</u>	<u>Arrastre</u>
0,8	6	10,6 a 31%	80	100
0,86	4	10,3 a 44%	90	105
0,87	10	10,7 a 50%	80	92
1,06	2	10,5 a 52,6%	72	76
1,0	8	10,7 a 60,7%	85	85



Podemos observar, para estas condiciones, con similar incidencia y magnitud de viento, que el alzamiento tiene ligeras variaciones, pero el arrastre indica claramente una tendencia que coincide con los perfiles profundos que nos permiten establecer lo siguiente:

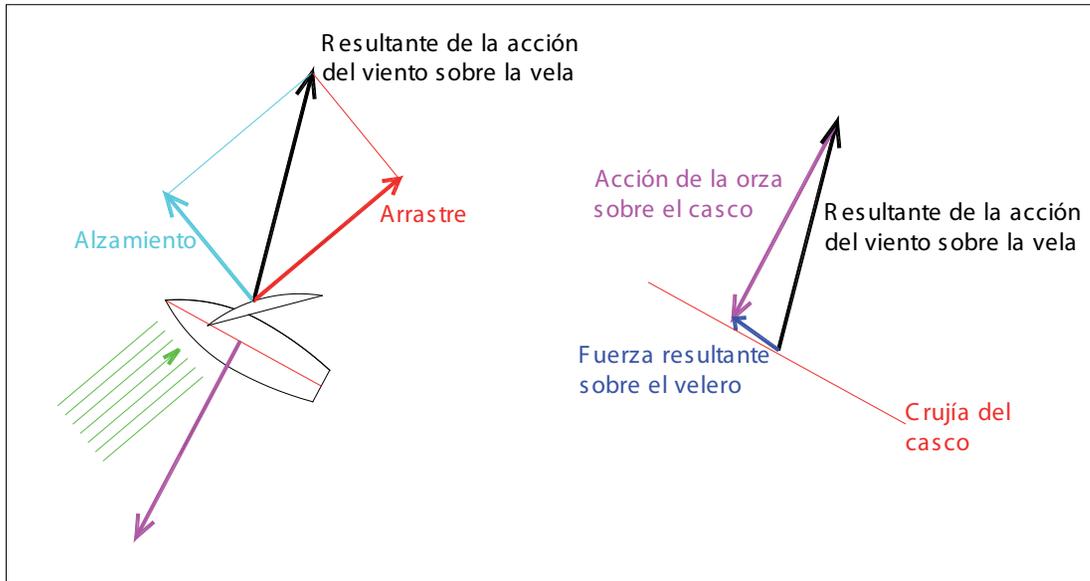
“Los perfiles que tienen la profundidad adelante generan más arrastre que los perfiles con profundidad más a popa”.

De acuerdo al croquis se puede apreciar en forma notable la dramática diferencia de las fuerzas que finalmente aportan para el movimiento en contra del sentido de la proa, cuando el ángulo de cazado es de 14°.

Y como todos los males no vienen solos en temas náuticos, podemos destacar que la fuerza destinada a generar abatimiento y escora es también mayor en los perfiles que tienen la profundidad más cerca del 30%.

Pero no todo es malo en esta vida, porque en este diagrama de fuerzas no he considerado el aporte de la fuerza de la orza o quillote, sin el cual la navegación en el sentido de la proa se haría difícil.

Considerando la acción del quillote sobre el casco las fuerzas consideradas a escala se ordenan de la siguiente forma:



Se puede apreciar en el diagrama derecho que si la fuerza del quillote disminuye, ya sea por la acción de la escora o por un mal diseño, la fuerza resultante sobre el velero mostrada en color azul, se aparta más de la línea de crujía. Eso significa más abatimiento.

4.4.- Perfiles planos (Re =67.416)

Perfiles ensayados en túnel a 10 m/seg (20 nudos)

Perfil	Nº	/Grados	-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	6
10,6 a 31%	6	Alzamiento	120	120		120		115	120		110		
		Arrastre	136	140		150		160	165		170		
		Alzam/ Arrast	0,88	0,86		0,8		0,72	0,73		0,65		
10,3 a 44%	4	Alzamiento	120	130	130	135	135	140	130	130	130	130	125
		Arrastre	85	100	115	120	125	130	132	138	142	145	150
		Alzam/ Arrast	1,41	1,3	1,13	1,12	1,08	1,08	0,98	0,94	0,92	0,9	0,83
10,7 a 50%	10	Alzamiento	120		122	122		125	125		125		120
		Arrastre	96		110	120		122	128		138		148

		Alzam/ Arrast	1,25	1,11	1,02	1,02	0,98	0,91	0,81		
10,5 a 52,6%	2	Alzamiento	100	115	120	125	135	135	135	140	
		Arrastre	82	90	100	110	120	140	145		
		Alzam/ Arrast	1,22	1,28	1,25	1,23	1,13	0,96	0,96		
10,7 a 60,7%	8	Alzamiento	110	115	125	130	130	135	135	140	
		Arrastre	70	74	80	90	95	95	100	108	120
		Alzam/ Arrast	1,57	1,55	1,56	1,44	1,37	1,37	1,35	1,25	1,17

Resumen a cero grado de incidencia

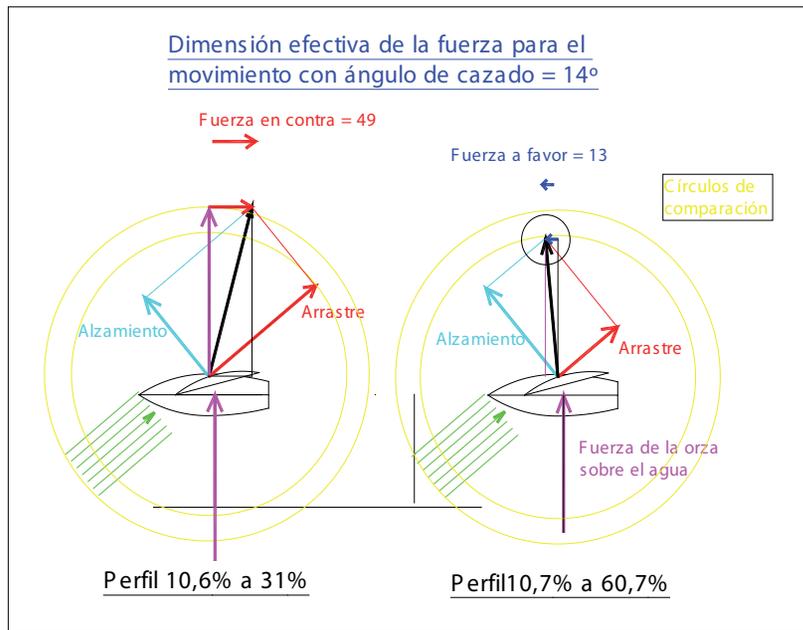
Perfiles planos a 20 nudos con Re. = 67.416

<u>A/A =</u>	<u>Perfil</u>	<u>Nº Profundidad</u>	<u>Alzamiento.</u>	<u>Arrastre</u>
0,72	6	10,6 a 31%	115	160
1,08	4	10,3 a 44%	140	130
1,02	10	10,7 a 50%	125	122
1,23	2	10,5 a 52,6%	135	110
1,44	8	10,7 a 60,7%	130	90

Este cuadro refleja en forma sorprendente las diferencias de alzamiento y arrastre que se producen debido a la posición de la profundidad respecto al punto de ataque de un perfil. No tan solo aumentó el alzamiento sino que el arrastre disminuyó es forma dramática de 160 a 90 unidades.

Creo que debemos fabricar velas con profundidad retrasada como lo indicado y no insistir en seguir copiando alas de pájaros o perfiles que para altas velocidades de viento pueden tener otras ventajas que no son de importancia para las velas de nuestros botes.

Resumen traducido a un croquis con dimensiones de fuerzas a escala



Podemos observar, para estas condiciones, que en estos perfiles planos, tanto arrastre como alzamiento experimentan nítidas tendencias que clarifican aun más la conveniencia de los perfiles con la profundidad más a popa.

Es importante resaltar que aun cuando el alzamiento del perfil N° 6 de profundidad de **10,6 a 31%** es de **115** unidades y el N° 8 de **10,7 a 60,7%** **aumenta a 130** unidades, o sea en **13% mayor**, la disminución del arrastre entre estos mismos perfiles es del **78 %**, resaltando aun más la eficiencia de segundo perfil.

Del mismo modo es importante destacar que producto de estas diferencias la relación **Alzamiento / Arrastre** del perfil N°8 de **10,7 a 60,7%** es el **doble** del perfil N°6.

Más que nunca debemos decir que cuando empleamos una vela con la profundidad al 60% en reemplazo de una con la profundidad más adelante, lo que estamos haciendo principalmente es **disminuir el arrastre**

Podemos concluir que mientras una vela tenga la posibilidad de mantener la profundidad límite, la mayor profundidad debe ubicarse cercana al 60% de la cuerda.

Comparación del mismo perfil plano para dos condiciones de viento, o sea cuando el viento aumenta y no se modifica la profundidad.

Para el perfil N° 6, 10,6 a 31%

Con 12 nudos, A/A = 0,80 alzam. = 80 arrastre = 100
Con 20 nudos, A/A = 0,72 alzam. = 115 arrastre = 160
 0,72 : 0,80 = 0,90 veces.... 1,44 veces 1,6 veces

Para el perfil N° 4, 10,3 a 44%

Con 12 nudos, A/A = 0,86 alzam. = 90 arrastre = 105
Con 20 nudos, A/A = 1,08 alzam. = 140 arrastre = 130
 1,08 : 0,86 = 1,26 veces.... 1,56 veces 1,24 veces

Para el perfil N° 10, 10,7 a 50%

Con 12 nudos, A/A = 0,87	alzam. = 80	arrastre = 92
Con 20 nudos, A/A = 1,02	alzam. = 125	arrastre = 122
$1,02 : 0,87 = 1,17$ veces....	1,56 veces	1,33 veces

Para el perfil N° 2, 10,5 a 52,6%

Con 12 nudos, A/A = 1,06	alzam. = 72	arrastre = 76
Con 20 nudos, A/A = 1,23	alzam. = 135	arrastre = 110
$1,23 : 1,06 = 1,16$ veces....	1,88 veces	1,45 veces

Para el perfil N° 8, 10,7 a 60,7%

Con 12 nudos, A/A = 1,00	alzam. = 85	arrastre = 85
Con 20 nudos, A/A = 1,44	alzam. = 130	arrastre = 90
$1,44 : 1 = 1,44$ veces....	1,53 veces	1,06 veces

En este ensayo podemos ver la nítida tendencia en el sentido que al aumentar el viento, la ubicación de la máxima profundidad debe estar ubicada hacia atrás.

En el ensayo con 12 nudos la óptima ubicación fue al 52,6% y con 20 nudos la ubicación óptima fue al 60%.

El perfil N° 4, 10,3 a 44% con 20 nudos tiene un alzamiento/Arrastre de **1,08**.

El perfil N° 8, 10,7 a 60,7% con 20 nudos tiene un alzamiento/Arrastre de **1,40** Podemos concluir que teniendo ambos perfiles similares alzamiento se diferencian por la diferente generación de arrastre.

5.- Conclusión general de los ensayos

5.1 de la ubicación de la profundidad

La regla general es que la profundidad de una vela que actúa sola, sometida al viento con justa incidencia, debe tener la máxima profundidad ubicada cerca del 60%, y a medida que aumenta el viento a niveles en que no puede lograrse la profundidad límite, esta profundidad debe moverse hacia el centro.

La mayoría de las velas que vemos en nuestras embarcaciones tiene la profundidad cercana al 40% .He visto muchas velas nuevas con profundidad menor al 40%.

Las velas que emplean el común de los navegantes tienen siempre un grado de deformación. Cuando se establece la sustentación por sotavento podrán notar que la mayor profundidad tiende a moverse más hacia el borde de fuga. Es común ver a nuestros navegantes que frente a este fenómeno inmediatamente recurren a dar más tensión al cunningham para restablecer la posición original de la profundidad.

Si esto ocurre en una ceñida con vientos medios y bajos, lo que posiblemente hayan logrado es aumentar el arrastre o freno de la vela y disminuir la sustentación, en desmedro de la velocidad.

Por esta razón es que en el apartado correspondiente sugerí emplear la mayor tensión del cunningham como una forma de disminuir la potencia de la vela y de supervivencia cuando el viento es excesivo.

5.2 De la incidencia del viento.

Finalmente y sólo como información adicional, puedo contarles que realicé un análisis similar comparando las características de las velas considerando que un timonel gobierna en un viento oscilante de 4 grados o que se distrae en rumbos de 4°.

Las conclusiones, en cuanto a la forma de la vela, fueron similares a las obtenidas cuando se gobierna idílicamente con una incidencia exacta.

El mito establecido por antiguos navegantes señala que siempre se aconseja navegar con menos dos grados de la incidencia justa. A la luz de los resultados obtenidos podemos corroborar que estaban en lo cierto, siempre que la vela, y exactamente el ángulo de ataque en todo el alto de la vela lo permita.

Ahora tenemos el conocimiento para respaldar con cifras reales el ángulo que nos conviene utilizar, para establecer nuestro propio mito, que va a depender en definitiva no tan solo de la solidez de nuestra vela para soportar ángulos negativos de incidencia, sino de nuestra capacidad de concentración y de los voluptuosos rumbos del viento o estabilidad del viento.

El autor Manfred Curry en su yate “Aera” ganador de muchas regatas nos habla de la ventaja del fullbatten.

En su libro Yacht Racing, edición 1951 establece que el hecho de tener una superficie rígida en la mayor, permite estrechar el canal que forma la mayor y génoa y de esa manera acelerar el flujo de aire que transita por esa sección.



Ahora, nosotros podemos afirmar que el distinguido autor, aparte de otros atributos personales, podía andar más rápido que el resto de los competidores, no porque podía estrechar el canal, sino porque podía optar, con su vela rígida a incidencias negativas de viento sin que se desventara la primera parte de la mayor, lo que de acuerdo a nuestros gráficos representa una enorme mayor eficiencia, en mayor potencia y mucho menos arrastre que cuando tenemos una incidencia justa del viento.

Estamos en condiciones de fabricar velas que tengan rigidez en el primer tercio?... Quien lo invente y lo emplee estará con una enorme ventaja sobre los que aun empleen velas tradicionales.

¡¡¡Buena suerte!!!

Décima parte

Navegación a vela y Aeronavegación

Breve historia de la aeronavegación hasta principios del siglo XX

La historia de la aeronavegación está llena de páginas escritas con sacrificio, imaginación, esfuerzo y audacia.

[Roger Bacon](#), monje inglés en el siglo XIII llegó a la conclusión de que el aire podría soportar un ingenio de la misma manera que el agua soporta un barco.

[Leonardo da Vinci](#), comienzos del siglo XVI analizó el vuelo de los pájaros y anticipó varios diseños que después resultaron realizables.

Francis Herbert Wenham, científico británico quien a mitad del siglo diecinueve utilizó en sus estudios el [túnel aerodinámico](#), para analizar el uso y comportamiento de varias alas colocadas una encima de otra.

Lawrence Hargrave, el inventor británico, nacido en Australia, desarrolló un modelo de alas rígidas impulsado por paletas batientes movidas por un motor de aire comprimido. Logró volar 95 m.

[Samuel Pierpont Langley](#), astrónomo estadounidense fabricó en 1896 un monoplano impulsado por un motor de vapor, cuyas alas tenían una envergadura de 4,6 m. El aeroplano hizo varios vuelos, recorriendo entre 900 y 1.200 m de distancia durante un minuto y medio.

Se hicieron numerosos esfuerzos para imitar el vuelo de las aves con experimentos basados en paletas o alas movidas por los músculos humanos, pero nadie lo logró. Merecen citarse el austriaco Jacob Degen entre 1806 y 1813, el belga Vincent DeGroof, que se estrelló y murió en 1874, y el estadounidense R. J. Spaulding, que patentó su idea del vuelo empujado por músculos en 1889.

Más éxito tuvieron quienes se dedicaron al estudio de los planeadores y contribuyeron al diseño de las alas, como el francés Jean Marie Le Bris, quien probó un planeador con las alas batientes, el estadounidense John Joseph Montgomery y el renombrado alemán [Otto Lilienthal](#). Este último realizó sus experimentos con cometas y ornitópteros, pero los mayores éxitos los obtuvo con sus vuelos en planeador entre 1894 y 1896. Por desgracia, murió en 1896 al perder el control de su aparato y estrellarse contra el suelo desde 20 m de altura.

Los hermanos estadounidenses [Wilbur y Orville Wright](#), en el estado de Carolina del Norte, El día 17 de diciembre de 1903, realizaron el primer vuelo pilotado de una aeronave más pesada que el aire, propulsada por motor.

El avión fue diseñado, construido y pilotado por ambos hermanos, quienes realizaron dos vuelos cada uno.



Wright Brothers' Aircraft

Unpowered - Gliders

Glenn
Research
Center



Glenn Hammond Curtiss, diseñador, fabricante y piloto estadounidense de Hammondsport, Nueva York, en 1907 realizó en solitario un vuelo en el dirigible construido por Thomas Baldwin, propulsado por un motor de motocicleta de la fábrica de Curtiss que él mismo había modificado. En mayo del año siguiente Curtiss voló, también en solitario, el aeroplano diseñado y fabricado por un grupo conocido como la Asociación de Experimentos Aéreos, organizada por Alexander Graham Bell. Curtiss era uno de sus cinco miembros. Con su tercer avión, el *June Bug*, el 4 de julio de 1908. Curtiss cubrió la distancia de 1.552 m en 42,5 segundos y ganó el Trofeo Científico Americano, primer premio estadounidense concedido al vuelo de un avión.

En Reims, Francia, el 28 de agosto del año siguiente, Curtiss ganó el primer torneo internacional de velocidad, al conseguir una marca de 75,6 km/h. El 29 de mayo de 1910 ganó también el Premio New York World, dotado con 10.000 dólares, por realizar el trayecto desde Albany, en el estado de Nueva York, hasta la ciudad de Nueva York, y en agosto completó el trayecto desde Cleveland a Sandusky, Ohio, sobrevolando la costa del lago Erie. En enero de 1911 consiguió ser el primer estadounidense en desarrollar y volar un hidroavión. En Europa lo había conseguido el 28 de marzo de 1910 el francés Henri Fabre.

No podemos dejar de nombrar a Charles A. Lindbergh, quien entre el 20 y el 21 de mayo de 1927 completó el primer vuelo en solitario cruzando el océano Atlántico, desde la ciudad de Nueva York hasta París recorriendo una distancia de 5.810 km en 33,5 horas. Lindbergh se convirtió con esta hazaña en uno de los pilotos más famosos de la historia de la aviación. La terrible guerra que sacudió al mundo en los años 1914 creó entre los beligerantes urgentes necesidades de emplear lo descubierto hasta la fecha, como elemento de observación y como mortíferas armas de destrucción y ataque. Estimularon a los diseñadores para construir modelos especiales más rápidos

y con mayor autonomía. Como consecuencia de la presión de la guerra, fueron entrenados más pilotos y construidos más aviones en los 4 años de conflicto que en los 13 años transcurridos desde el primer vuelo.

La historia de la navegación a vela es mucho más antigua que la de la aeronavegación, sin embargo en nuestro tema, a pesar del desarrollo observado, jamás se hizo un esfuerzo similar en investigación al que llevaron a cabo en la aeronavegación en los inicios del siglo veinte.

Resultados de las investigaciones aeronáuticas.

En el año 1915 se crea en Estados Unidos la National Advisory Committee for Aeronautics, conocida como NACA. Y otras 23 instituciones y empresas dedicadas a la investigación entre las que menciono Washington Navy Yard, Massachussets Institute of Tecnology, Wright Field, U.S.Army, Langley Memorial Aerodynamical Laboratory, y otras dedicadas a la fabricación de aviones y repuestos como Curtiss Aeroplane and Motor Corporation, Ford Motor Company, Fokker Aircraft Corporation, etc... Paralelamente en Francia ya estaba funcionando desde principios de siglo Eiffel Laboratory, en Alemania Göttingen, en Inglaterra la British Aeronautical Research Committee.

A fines del año 1930 había en oferta, de las distintas fábricas, más de trescientos tipos diferentes de aviones capaces de volar enormes distancias y con algún grado de seguridad.

Análisis de temas aerodinámicos de la época.

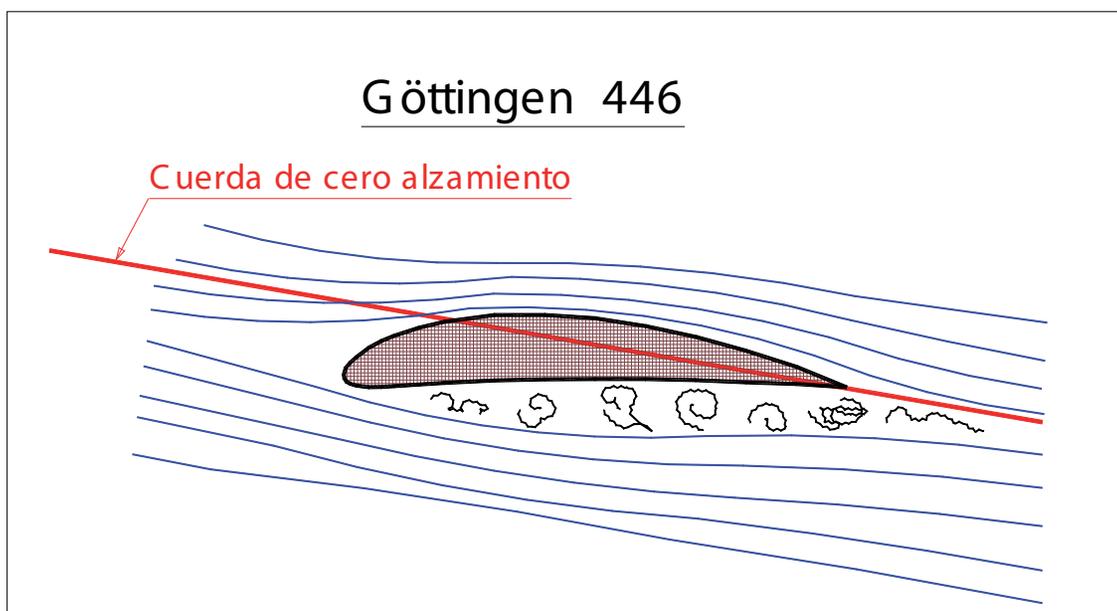
Airfoil o aerofoil o formas aerodinámicas.

Son principalmente las alas de los aviones.

Los perfiles aerodinámicos son cuerpos que por su forma, y expuestos a un flujo, provocan una reacción en sentido perpendicular a la dirección en que se desplaza el flujo que llamamos **alzamiento**, y una pequeña fuerza opuesta que llamamos **arrastre**.

Estas fuerzas se generan en un aerofoil cuando el flujo tiene una incidencia angulada respecto a la cuerda.

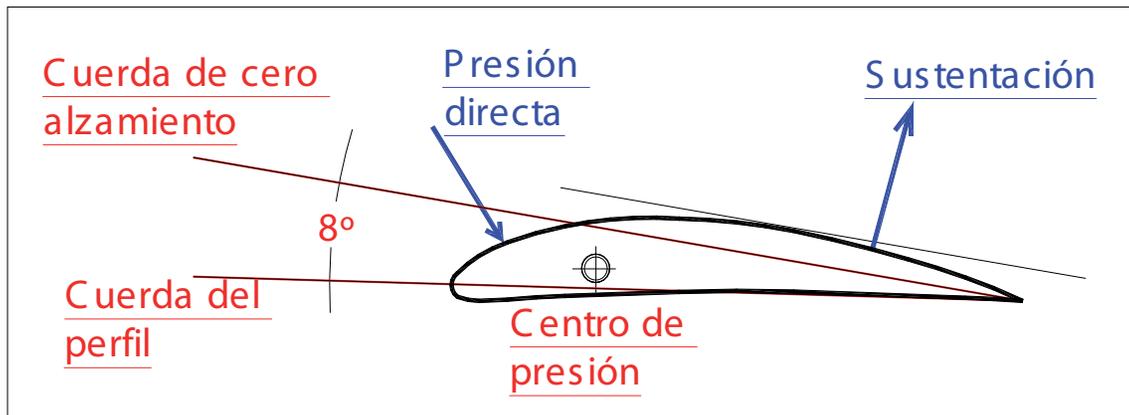
Algunos antiguos perfiles aerodinámicos:



La cuerda de cero alzamiento es aquella que coincide con el rumbo del flujo que acomete y en el que el perfil o ala no genera alzamiento, o fuerza en sentido opuesto a la fuerza de gravedad.

A medida que disminuye el ángulo de incidencia del flujo, el alzamiento comienza a disminuir hasta que se hace cero y la resultante para esa posición tiene un sentido es muy parecido al del flujo.

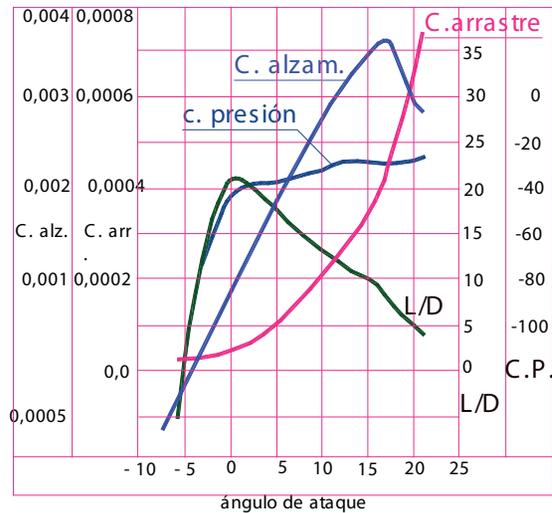
La cuerda del perfil aerodinámico es la línea recta que une el punto de estancamiento con el borde de fuga de un perfil aerodinámico



En nuestras velas la cuerda es “la cuerda de un arco de flechas” o sea la línea que une punto de ataque con borde de fuga.

Las características de un aerofoil graficadas en curvas, no tan sólo dependen de la forma de la sección ensayada. También dependen de la relación de aspecto o sea de la relación entre el largo del ala y la cuerda media, de la velocidad en que se efectúa el ensayo, del Numero de Reynold, o sea las características del flujo en contacto con el modelo ensayado, de la relación entre la velocidad de ensayo y la velocidad del sonido, y de la rugosidad de la superficie del modelo.

Las características de un aerofoil son generalmente graficadas mostrando la variación del alzamiento, el arrastre y el desplazamiento del centro de presión a medida que cambia el ángulo de incidencia del flujo respecto a la cuerda geométrica.



Perfil Clark Y

Comentario:

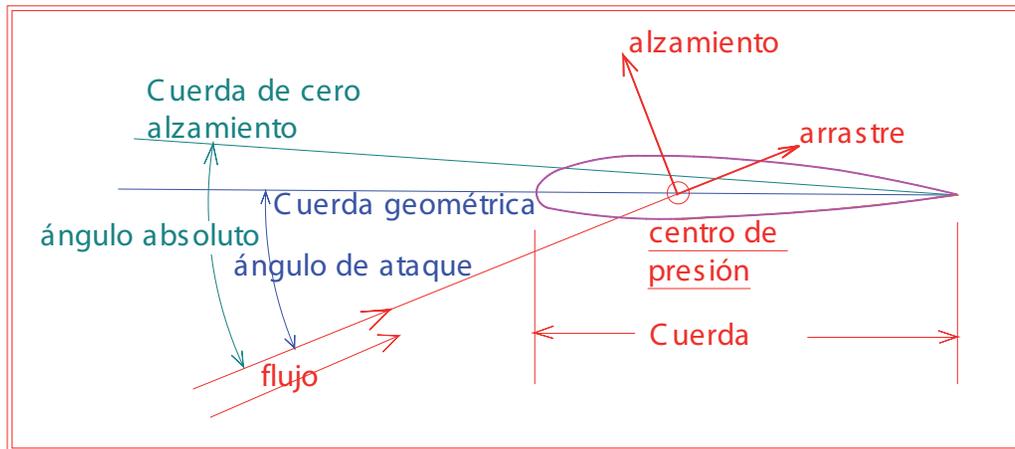
Los perfiles aerodinámicos son el gran descubrimiento.

Llama la atención que para explicar la generación de la fuerza de sustentación en un ala, no mencionen el término “diferencia de presión” y sólo la atribuyan a la reacción que provoca en el aerofoil el desvío del flujo. Este tema que a ellos no les interesa mayormente, salvo que efectivamente se genere la fuerza, es el motivo de la mayor discusión que se ha generado en torno a la explicación de la sustentación en nuestras velas hasta el día en que escribo estos apuntes.

Distribución de fuerzas y centro de presión:

El punto de intersección del vector de las fuerzas resultantes con la cuerda de un aerofoil es el “centro de presión”.

Si la resultante de las fuerzas se descompone en dos componentes, una paralela al sentido del flujo y otra perpendicular, entonces la primera es el arrastre o freno y la segunda es el alzamiento o sustentación.



Comentario:

En nuestras velas estimamos que el centro de presión no está en la cuerda sino que en el paño de la vela. Todavía hay textos que ponen el centro de presión en la cuerda, o sea fuera del paño de la vela.

Las magnitudes de estas fuerzas, sustentación (lift) y arrastre (drag) es la referencia para analizar las características de un aerofilo a distintos ángulos de incidencia del flujo y a distintas velocidades.

El sentido del vector que simboliza a la fuerza del alzamiento o sustentación es perpendicular al rumbo del flujo y el arrastre es en el sentido del flujo.

La aeronavegación también emplea, para análisis estructural de las alas, la descomposición de la fuerza resultante en una paralela a la cuerda y otra componente perpendicular a la anterior.

A diferencia de estos sistemas de descomposición de la fuerza resultante, en la navegación a vela descomponemos a la fuerza resultante en una componente perpendicular a la crujía o eje longitudinal del bote que es la fuerza escorante y de abatimiento, y la otra en el sentido del desplazamiento, que es la que nos impulsa, sin considerar el abatimiento.

En la navegación a vela no tenemos registros de las dimensiones de las fuerzas que generan las distintas formas de velas empleadas. Sólo decimos que una vela con profundidad genera más arrastre que una forma plana (eso es verdadero) y que genera más sustentación. Al generalizar esta última afirmación cometemos un error. La ubicación de la profundidad y el efecto que produce es un tema generalmente desconocido. Se dice que la ubicación de la máxima profundidad tiene relación con el centro de presión, pero ¿afecta a la potencia?

Resistencia o arrastre:

Establecen que cualquier cuerpo sometido a la acción de un flujo genera resistencia. Si el fluido no tiene viscosidad y es incompresible el cuerpo no genera resistencia. Un avión propulsado con hélices no puede volar inmerso en una atmósfera sin viscosidad, porque carecería de potencia y de alzamiento.

La resistencia generada varía con la densidad del fluido, con la superficie expuesta proyectada, con la forma del objeto y con el cuadrado de la velocidad.

Comentario: En eso están de acuerdo con científicos que estudiaron el movimiento en siglos anteriores. Nosotros debemos agregar que la resistencia también depende de la viscosidad del fluido en que se desplaza.

Coefficientes de alzamiento y arrastre. El análisis los distintos perfiles de similar superficie pero de distinta forma y espesor, entregan distintos valores de alzamiento y arrastre. Esta característica que los hace diferentes, establece coeficientes de comparación respecto a un padrón base. Los denominan coeficiente de alzamiento (Cl.) y coeficiente de arrastre (Cd.)

Establecen que la densidad del aire que cambia con la temperatura y la presión es un factor importante que altera la capacidad de generación de fuerzas. Se establecen las siguientes fórmulas:

$$\text{Alzamiento} = \text{Lift} = \frac{1}{2} \times Cl \times d \times S \times V^2$$

$$\text{Arrastre} = \text{Drag} = \frac{1}{2} \times Cd \times d \times S \times V^2$$

Cl y Cd son coeficientes

D es la densidad del aire

S es la superficie expuesta proyectada al flujo

V es velocidad.

Comentario: Actualmente empleamos las mismas fórmulas pero para un rango de velocidad menor a la del sonido, en donde el factor velocidad se aproxima al cubo. Tengo curiosidad por saber si la resistencia y la sustentación generada por objetos aerodinámicos para bajas velocidades, es al cuadrado de la velocidad. Los textos así lo dicen, pero quizás sea ligeramente inferior a ese valor.

La expresión empleada en la fórmula como $\frac{1}{2} \times d \times V$ al cuadrado corresponde a la presión dinámica de un fluido en movimiento y puede ser medido directamente con un **tubo Pitot** expuesto en un flujo.

De esta forma podemos expresar que la fuerza que capta nuestra vela, al menos por acción directa del flujo por barlovento, es el producto de la energía que tiene un determinado viento por la proyección de la superficie expuesta, por la velocidad al cuadrado y por un coeficiente de alzamiento atribuido a la **“forma de la vela”**.

La **“forma de la vela”** es un larguísimo e histórico capítulo de controversias en la navegación a vela y se han escrito miles de textos y artículos que aseguran tener la forma perfecta. O sea la que tiene el mejor coeficiente de alzamiento. Como es lógico deducir, si no nos hemos puesto de acuerdo sobre la forma en que se genera la fuerza de sustentación en nuestras velas, mal podríamos estar de acuerdo en la forma definitiva de una vela, pero para determinado viento, con determinado mar, sin considerar factores de rugosidad, de temperatura y de estabilidad del viento, siempre que el equilibrio sea perfecto.

Lo primero es saber el tipo de combustible que emplea el motor para saber si es un buen motor. Hoy estamos discutiendo sólo sobre motores.

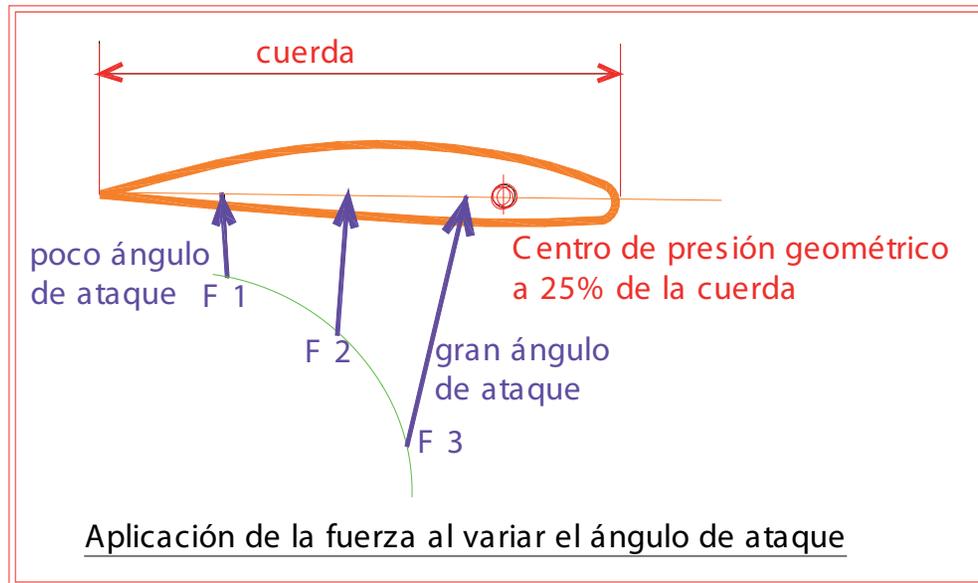
Manfred Curry nos cuenta en su libro de edición en el año 1951, que la goleta América tuvo gran éxito en su visita competitiva a Inglaterra. Que los ingleses atribuyeron su derrota a las velas más planas de los americanos y desde esa fecha se las velas fueron fabricadas con formas planas. Pero posteriormente apareció un barco alemán que fue derrotado por la famosa goleta en Marblehead. Los alemanes atribuyeron la derrota a las velas de mayor bolso de los americanos. Entonces en Alemania se fabricaron velas más arqueadas.

El tema de la forma de la vela es, tal como digo, es una histórica discusión. Hoy al menos sabemos que la forma de la vela depende de muchos otros factores entre los que la profundidad es sólo uno de ellos.

Centro de presión móvil.

Tal como mencionamos anteriormente, el **centro de presión** es el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas que actúan sobre un aerofoil, y puede estar en cualquier lugar de la cuerda. El **centro de presión geométrico** se ha establecido arbitrariamente a un 25% de la cuerda, para tener un punto de relación con el centro de presión móvil.

Estudios realizados por Eiffel para su famosa torre, demuestran que en una placa plana expuesta a un flujo de aire el centro de presión se mueve hacia atrás a medida que aumenta el ángulo de incidencia y al revés cuando el ángulo disminuye. (orza plana)



El desplazamiento del centro de presión cada aerofoil expuesto a un flujo es diferente y establece el grado de estabilidad en el vuelo. Esta inestabilidad se corrige en los aviones con el timón de profundidad, que es equivalente a nuestro timón. Las correcciones aumentan el arrastre.

Comentario: En nuestras velas, que son diferentes por espesor a un aerofoil o ala de avión, el centro de presión se desplaza mucho más que en perfiles bidimensionales, a medida que cambia la profundidad, la posición de la máxima profundidad, la velocidad del viento y la modificación del ángulo de incidencia del viento, ya sea por turbulencias o por distracción del timonel. Nuestras velas, perfiles unidimensionales son altamente inestables para ser consideradas como una posibilidad de emplearlas en aparatos voladores. Fueron desechadas y no estudiadas por aquellos investigadores.

3.- Criterio para seleccionar alas para un avión.

A diferencia de un avión cuyas alas no se pueden cambiar durante el vuelo, nosotros podemos modificar la forma mientras navegamos.

1.- Valor del máximo coeficiente de alzamiento.

Al observar la fórmula que determina el alzamiento,

$$\text{Alzamiento} = \text{Lift} = \frac{1}{2} \times C_l \times \rho \times S \times V^2,$$

Podemos deducir que, si un avión tiene alas con buen coeficiente de alzamiento y la superficie de alas adecuada puede optar a vuelos a menor velocidad que con otras alas más pequeñas o con peor coeficiente.

En vuelo horizontal el alzamiento debe ser igual al peso del avión y su carga. De este modo se puede determinar la mínima velocidad mínima a la que puede volar.

$$\text{Alzamiento} = \text{Peso del avión} = \frac{1}{2} \times C_l \times \rho \times S \times V^2$$

El alzamiento máximo se determina exponiendo el ala o aerofoil a un flujo a determinada velocidad, y modificando el ángulo de incidencia y la velocidad.

Comentario:

Podemos observar que el alzamiento que necesitan en la aeronavegación es en sentido opuesto a la fuerza de gravedad. Tal como veremos más adelante, muchas veces el alzamiento de un ala en vuelo tiene una componente que se suma al arrastre o sea hacia atrás. Eso se resuelve con más motor y con un enorme aumento de combustible, y en los planeadores con un vuelo más inclinado.

En la navegación, la sustentación debe tener una componente que genere el movimiento de nuestra embarcación en el sentido de la proa.

Observamos que el alzamiento debe ser a lo menos igual al peso del avión y su carga. En nuestros botes, el alzamiento que provocan las velas debe ser a lo menos equiparado a la sustentación que el quillote genera por acción del agua. Velas más grandes y con mayor potencia en ceñida, requieren de mayor alzamiento en la orza o quillote.

2.- Relación entre el máximo alzamiento, con el arrastre, L / D.

En términos generales esta relación establece una medida de eficiencia del perfil ensayado determinado en los distintos ángulos de ataque del flujo y a distintas velocidades.

comentario: para nosotros, la búsqueda de la eficiencia es eterna mientras navegamos, entendiendo por eficiencia la máxima velocidad a la que podemos optar con un determinado viento, en velocidad y estabilidad y con las características del freno que nos pone el agua.

La relación **Alzamiento / Arrastre** que comúnmente vemos en nuestros textos, y en folletos técnicos editados por algunas fábricas de velas para nuestra información, incluso en los más recientes, con gráficos incluidos, se refieren a la variación del alzamiento y del arrastre de un perfil de una sección de una vela, “a medida que se modifica el ángulo de incidencia”. El ángulo de incidencia es el que forma la cuerda y la dirección del flujo.

Tal como veremos, estos gráficos no son más que una copia de los mismos gráficos que nos muestran los textos de la aeronavegación pero con un perfil de una sección de una vela en lugar de un ala de avión, pero nunca indican la velocidad del ensayo, ni las características detalladas del perfil. No nos sirven salvo para satisfacer nuestra curiosidad.

El consejo final de los apuntes de vela existentes, después de esa exposición, es que “debemos optar por un ángulo de cazado o de incidencia de viento en que la relación L / D sea “la óptima”.???

Cuando navegamos, nuestra vela tiene un ángulo de ataque respecto a la cuerda y tratamos de mantener el flujo accediendo paralelo a la primera parte de la vela (zona del gratil), con ligeras modificaciones. Eso lo logramos con la ayuda de los catavientos dispuestos en esa zona. Cualquier modificación de ese ángulo de incidencia, o sea si manteniendo el rumbo, modificamos la posición de cazado de la botavara, la pérdida de potencia será inmediata. Si cazamos más allá de un par de grados se pierde sustentación y si lascas o sueltas la escota, el viento deforma el paño pegado al mástil por sotavento.

Dígame usted, ¿de qué relación **Alzamiento / Arrastre** nos están hablando si sólo podemos optar a un ángulo para que la vela funcione?

A continuación se atreven a pronosticar que cuando nuestra vela esté con una incidencia superior

a los 15°, perderemos la sustentación. Estos son gruesos errores que irresponsablemente se lanzan para que sean digeridos por los que pretenden perfeccionarse en el arte de la vela.

En nuestras velas perdemos la sustentación en función de la incidencia del viento que depende del ángulo de ataque de nuestra vela, también por exceso de profundidad y finalmente por la velocidad del viento.

Perfectamente nuestra vela puede funcionar en condiciones óptimas en un enorme rango, dependiendo del ángulo de ataque que tenga nuestro proyecto de vela, según sean las variables que he mencionado. Con poco viento puedo perfectamente optar por ángulos de incidencia superiores a 25° respecto a la cuerda, sin pérdida de potencia y a menos de 10° cuando la vela es plana.

Este tema se analizó en el capítulo destinado a la sustentación.

3.- Cuociente entre el coeficiente de alzamiento máximo con el arrastre mínimo.

Para la navegación no representa mayor interés.

4.- Máximo valor del cuociente entre el coeficiente de alzamiento elevado a la potencia 3 / 2 con el coeficiente de arrastre.

Está fuera de nuestro tema.

5.- Características estructurales del ala para ser fijada al fuselaje. Las alas deben adherirse al fuselaje y además soportar las cargas que se esperaba que generaran. Los materiales y tecnología de la época requerían de secciones de mayor espesor que las que se emplean actualmente. Definitivamente no podían emplear alas planas a excepción de aviones con dos pares de alas y con muchos tensores y pilares.

6.- Desplazamiento del centro de presión.

Los perfiles aerodinámicos simétricos son llamados estables porque el desplazamiento del centro de presión es mínimo con la variación de la incidencia y de velocidad, estableciéndose en un punto cercano al 28% de la cuerda.

Existen otros tan inestables, para determinadas condiciones, que el centro de presión incluso puede ubicarse fuera de la cuerda del ala.

El criterio para seleccionar determinada ala es que el centro de presión sea estable con los cambios de ángulo de incidencia.

7.- Estabilidad del ala a distintos ángulos de incidencia o inclinación.

Es una obvia característica que desea tener cualquier móvil.

Comentario:

En nuestras embarcaciones la estabilidad en el rumbo, especialmente en yates para cruceros permite navegaciones gratas y relajadas, siempre que la cancha así lo permita.

Las formas de vela más embolsadas, con mayor profundidad permiten rumbos más estables, pero con menos ángulo de ceñida.

La distancia entre quillote y aleta de un velero, entre ala y timón de profundidad en un avión, permiten mayor estabilidad en el rumbo.

Una vela tiene pocas posibilidades de cambiar la incidencia sin tener pérdidas de sustentación. Sin embargo el centro de presión en una vela varía con la velocidad del viento, con la profundidad de la vela y con la ubicación de la máxima profundidad y eventualmente con la rugosidad.

El centro de presión por barlovento es diferente al de sotavento. Ambas fuerzas se traducen en una resultante general. Si la sustentación por sotavento desaparece o es parcial esta resultante está más

influenciada por la fuerza que se genera por acción directa del viento por barlovento, o sea cercana al 30% de la cuerda medida desde el mástil para vientos medios, siempre que la incidencia sea la correcta.

Estos importantes detalles junto a muchos otros establecen el equilibrio del rumbo en una embarcación.

4.- Efecto de las modificaciones en un aerfoil.

En aquella época los perfiles ensayados para alas de avión debían modificarse por razones estructurales o por necesidad de que tuvieran otras características que prestarán mejor servicio al aparato que se estaba construyendo, y sin duda por la opinión de los pilotos.

Por tal motivo estudiaron los efectos que provocaban tales modificaciones sobre las propiedades de las formas originales.

Estas se pueden resumir en las siguientes:

4.1.- Modificación de la curvatura del extradós (parte superior del ala).

En los inicios de la aeronavegación, los investigadores pensaban que las fuerzas de alzamiento se generaban sólo por la acción del intradós del ala. Los ensayos siguientes pronto indicaron que el extradós contribuía en forma importante a la generación del alzamiento cuando el perfil era sometido a flujos normales de ángulos de ataque o de incidencia de flujo.

4.2.- Modificación de la curvatura del intradós (parte inferior).

Los cambios menores en la curvatura del intradós afectan en menor proporción a las características generales del aerfoil que las que se provocan modificando el extradós.

El alzamiento aumenta con el aumento de la concavidad y disminuye a medida que el intradós se hace más convexo. El arrastre también aumenta proporcionalmente con la concavidad del intradós.

A partir de la máxima concavidad, el arrastre comienza a disminuir a medida que se acerca a la forma plana. Si el intradós se convierte en convexo, el arrastre continúa disminuyendo hasta que llega a un rango entre 1/3 y la mitad de la altura de la curvatura del extradós medido desde la cuerda.

La variación de la relación entre el alzamiento y el arrastre varía desde que el alzamiento es máximo con máximo arrastre, hasta donde el alzamiento es mínimo (intradós convexo al máximo) con mínimo arrastre.

El mayor valor L / D se obtiene con formas de poco espesor, en que el extradós tiene una curvatura del orden del 10% de la cuerda o menos, con un intradós plano. Las secciones muy delgadas muestran un máximo valor de esta relación (L / D) cuando el intradós tiene una forma convexa de alrededor del 25% de la que tiene la superficie superior.

Las formas cóncavas de intradós presentan problemas estructurales para adherirse al fuselaje.

4.3.- Posición de la máxima curvatura.

Dependiendo del espesor del ala, los ensayos muestran que la posición de la máxima curvatura de la parte superior del ala debe estar en el 30% de la cuerda medido desde el punto de ataque.

Un perfil con un espesor de 15% de la cuerda y con intradós plano podría tener la máxima curvatura entre el 36 al 38% de la cuerda desde el punto de ataque. Si el espesor se reduce en 10% o sea con un espesor de 13,5% de la cuerda, la máxima curvatura puede moverse al 32% de la cuerda y con un espesor de 12,5% la máxima profundidad debe estar al 30% de la cuerda medido desde el punto de ataque. En esa posición, la relación L / D es máxima para ese espesor del ala. El arrastre es menor aun cuando se desplaza la máxima curvatura más hacia delante, pero comienza a disminuir la sustentación.

La ubicación de la máxima curvatura del intradós no afecta mayormente las características del perfil, y su ubicación tiene más relación con factores estructurales que factores aerodinámicos. Si el in-

tradós es cóncavo, la ubicación de la máxima concavidad debe desplazarse hacia el borde de fuga para aumentar la profundidad en esa zona.

Comentario: Lamentablemente no nos informan de la velocidad del flujo en estos ensayos, pero debemos suponer que son mayores que los que tenemos cuando navegamos.

Las modernas alas rara vez, por no decir nunca, presentan concavidad en el total del intradós. Eso significaría que el perfil tendría una forma puntiaguda lo que en términos aerodinámicos es poco deseable.

Si tomamos las indicaciones partiendo al revés, podemos concluir que para un ala de avión, con poco espesor, del orden del 12,5% de la cuerda, e intradós plano, la ubicación de la máxima curvatura del extradós debe estar en 30% de la cuerda medido desde el punto de ataque, y a medida que aumenta la curvatura, (distancia desde la cuerda) la posición de la máxima curvatura debe desplazarse hacia atrás o sea hacia el borde de fuga. Esto es un importante detalle que refuerza la explicación sobre la sustentación

Estaríamos más felices si nos dijeran directamente que para vuelos de menor velocidad se puede usar perfiles con mayor curvatura sin pérdida de sustentación, que sabemos es verdadero.

4.4.- Efectos de la modificación del espesor sobre el centro de presión.

Al aumentar la curvatura (camber) de la superficie superior del aerofoil, aumenta la movilidad del centro de presión, para pequeños ángulos de ataque.

La concavidad de la parte baja aumenta la movilidad del centro de presión.

Si aumenta la forma convexa de la parte baja, el centro de presión tiende a ser más estable.

Puede establecerse como regla general, que en un aerofoil de sección simétrica el centro de presión es virtualmente estático, para ángulos de incidencia normal.

5.-Formas relacionadas

5.1.- Alas de cuerda variable. (¿Vela triangular?)

Experimentos demostraron que se obtienen beneficios, cuando la cuerda del extremo del ala es la mitad que la cuerda del eje de simetría, (cercana a la mitad del ala). Comparada a un ala rectangular el máximo coeficiente de alzamiento fue superior entre el 2% y 10% y el arrastre disminuyó entre el 10% y el 18%.

5.2.- Forma del extremo del ala.

Las formas redondeadas respecto a la terminación recta del ala, mejoraron el alzamiento en 1% a 1,50% y la relación L / D en 2% a 3%. Muchas otras formas no mejoraron sustancialmente respecto a la forma recta.

5.3.- Twist o torcedura del ala

Si la cuerda del extremo del ala tiene un ángulo entre 6 y 8 grados superior en incidencia que la cuerda de simetría, aumenta levemente el coeficiente de alzamiento entre un 2,50% y 3%. Si es al revés disminuye y aumenta el arrastre.

6.- Efecto canaleta en las alas.

Los trabajos de investigación basados principalmente en los descubrimientos de F.Handley-Page en Inglaterra nos muestran que con un pequeño canal practicado cerca del punto de ataque del ala, se obtiene un notable aumento en la capacidad de generar alzamiento y un aumento en el ángulo de pérdida de sustentación. El flujo que entra hacia el extradós del ala tiende a impedir que la pronta

separación de la capa límite, o la retrasa, permitiendo un flujo adherido en donde sin este sistema, las turbulencias estarían presentes.

7.-Biplano, dos o tres alas en acción. (¿foque mayor?)

Establecen que la superposición de dos o tres alas con poca separación entre ellas, no es mejor que la acción de cada una actuando individualmente. Sin embargo la combinación de alas con una separación y sobreposición adecuada genera características ventajosas para un determinado fin.

Los factores que afectan la eficiencia de la combinación de múltiples alas son:

7.1.- Distancia entre las cuerdas de las alas sobrepuestas (gap)

Se refieren a biplanos ortogonales sin sobreposición es decir un ala exactamente sobre la otra. Para pequeños ángulos de ataque no mejoran respecto a un monoplaneo.

Un monoplaneo (un ala a cada lado) tiene las siguientes ventajas sobre un biplano ortogonal:

Mayor alzamiento.

No pierde sustentación en forma brusca como en el biplano.

Considerable aumento en la relación Alzamiento Arrastre.

7.2.- La sobreposición (stagger)

La sobreposición más común es aquella en que el ala superior está más adelante que el ala baja. Las múltiples combinaciones de sobreposición obedecen más a razones prácticas como fácil acceso y mejor visión, que a razones aerodinámicas. Sin embargo el análisis de las características aerodinámicas de las alternativas de sobreposición, comprobó que:

- Un aumento de sobreposición aumentó el alzamiento, y mejoró la relación Alzamiento Arrastre.

- Con pequeños ángulos de ataque un aumento de la sobreposición aumentó la capacidad de carga del ala superior.

Con una sobreposición del 50% se pudo comprobar que el centro de presión permaneció estable.

Con pequeños ángulos de incidencia o ataque, se pudo comprobar que el centro de presión se desplazó hacia atrás. A medida que esta sobreposición sobrepasó el 50%, esta tendencia aumentó.

La sobreposición al revés o sea con el ala baja más adelante, movió el centro de presión hacia delante para grandes ángulos de ataque. La razón es lógica, el ala superior queda escondida o tapada por el ala inferior. Para pequeños ángulos el centro de presión, se desplazó hacia atrás.

7.3.- El ángulo entre las cuerdas de las alas (decalage) (¿ángulo de cazado?)

“Teóricamente debería ganarse alzamiento al darle una mayor inclinación al ala inferior para captar de mejor forma el flujo desviado por el ala superior. Hecho el experimento resultó exactamente al revés de lo que teóricamente debería resultar. Se hizo al revés, o sea se puso un pequeño ángulo de inclinación al ala superior, un grado, respecto a la inferior. Esto provocó una leve mejoría en la sustentación”

7.4.- Posición de las alas respecto a la perpendicular lateral del eje del avión (sweep back)

No provocó cambios aerodinámicos importantes respecto a la posición a escuadra o perpendicular al eje del avión.

Es la inclinación de la vela en el sentido longitudinal.

8.- Comentario final.

No cabe duda que la tentación de aplicar directamente todos estos estudios desarrollados para perfiles aerodinámicos como las alas de un avión al tema de la vela, es enorme.

Al releer esta muy resumida exposición de temas aeronáuticos de esa época, pensé en que estaba leyendo temas náuticos. Los títulos se confunden en ambas disciplinas. Más de alguien volverá a tentarse y nuevamente hurgará su sistema de navegación basándose en estos antiguos esquemas.

Me queda claro que muchos autores no fueron capaces de sustraerse a la manzana de la querida Eva. Partiendo por el autor más antiguo del que tengo referencia que aplicó estas investigaciones aeronáuticas al tema de la vela, Manfred Curry en 1925, hasta los más modernos, ochenta años después.

No quiero decir que todo lo que han escrito está errado o equivocado. Eso sería ruin. Quiero reiterar que todos los libros escritos y publicados tienen el enorme valor de ser el reflejo de mucho tiempo entregado a la causa. Eso es vida entregada, que pudo ser dedicada a la familia o a otras actividades menos riesgosas. Amo la navegación y cualquier aporte en ese sentido tiene mi mayor admiración.

Al escribir estos apuntes, sé que me puedo sumar a la larga lista de autores, que suman aportes a la navegación y que caen en errores. Pero eso es un aliciente para que quien tenga algo que decir lo exprese, tal como yo lo hago ahora a través de estos apuntes.

BIBLIOGRAFÍA.

- Le Cours de Glénans
- Regatas de Yates de Manfred Curry
- Sail Power by Wallace Ross with Carl Chapman
- A B C de la Vitesse et de Règlages de Jaques Daour
- Aprenda a ganar Regatas
- Naviguez à la Voile de Jean Merrien
- North U. Curso Técnico
- Sail performance de C A Marchaj
- Parapente, de Mario Arque Domingo.
- Fluid Mechanics by M A Plint and L Boswirth
- Curso de Hidráulica de Francisco Javier Dominguez
- Las Mareas de Edward P.Clancy
- Compendio de Cosmografía de José P. Schmidt
- Mecánica General de Nicomedes Alcayde y Carvajal
- Aviation Handbook by Warner and Johnston
- Technical aerodynamics by Karl D Wood

