

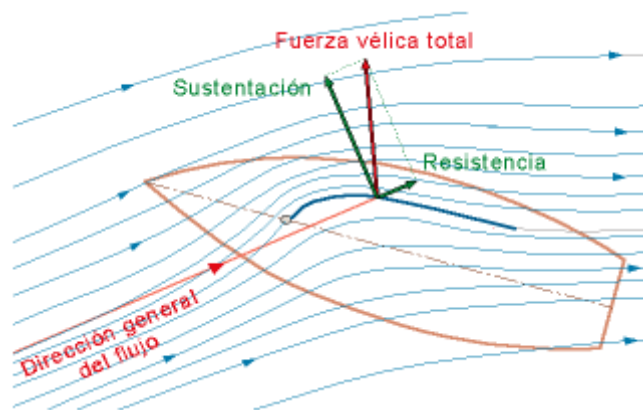
Conceptos básicos de aerodinámica.

Generación de la fuerza de sustentación

La fuerza de sustentación es el parámetro básico de la mecánica de fluidos de un velero. Se genera por la diferencia de presión existente entre las dos caras de las velas, debido fundamentalmente a un fenómeno poco conocido que se denomina "circulación de velocidad"

La fuerza de sustentación

Las velas de los veleros, de igual modo que las alas de los aviones, generan una fuerza de sustentación que es debida a las diferencias de presión entre las caras opuestas de sus perfiles aerodinámicos. Esta fuerza de sustentación es la que mantiene, en efecto, a los aviones en el aire y hace avanzar a los veleros contra el viento.



La descomposición vectorial del empuje vélico en sustentación y resistencia explica que el objetivo de un velero que navega en ceñida sea maximizar la primera y minimizar la segunda para lograr la máxima fuerza propulsiva hacia proa y el mínimo abatimiento.

En la figura se puede ver como el empuje vélico de una vela navegando contra el viento se genera en una dirección más o menos perpendicular a la sección del perfil y, de este modo se puede descomponer en una componente perpendicular al flujo, la sustentación, y en otra en su misma dirección, la resistencia.

El arte del trimado de un velero en ceñida consiste, desde un punto de vista aerodinámico, en obtener en todo momento la máxima sustentación y la mínima resistencia, puesto que esto es lo más rentable para la obtención de la máxima fuerza propulsiva y el mínimo abatimiento.

La circulación de velocidad

Durante muchos años se creía que la sustentación se generaba solamente por la desviación del flujo de aire en contacto con la vela y no se tiene en cuenta un parámetro igualmente fundamental que es el denominado "circulación de velocidad".

Es difícil comprender intuitivamente el concepto de circulación de velocidad, pues es imposible verlo a simple vista en un barco y es un concepto de origen matemático antes que empírico. Durante las primeras décadas de este siglo, en pleno desarrollo del aparejo Marconi y la consiguiente carrera para ceñir cada vez más, los navegantes intentaron comprender la generación de la codiciada sustentación mediante la única acción del flujo lineal de aire sobre la vela: es decir, el viento aparente, el que se "ve" y se siente, cuya dirección y velocidad se puede medir.

Sin embargo, gracias al desarrollo de la aeronáutica y con ella la aparición de los laboratorios basados en los túneles de viento se demostró algo que los matemáticos ya sabían: que el flujo lineal del aire, por sí mismo es incapaz de generar sustentación y que existía otro flujo, no lineal sino circular, alrededor de la vela, que denominaron "circulación de velocidad" o "flujo de circulación".

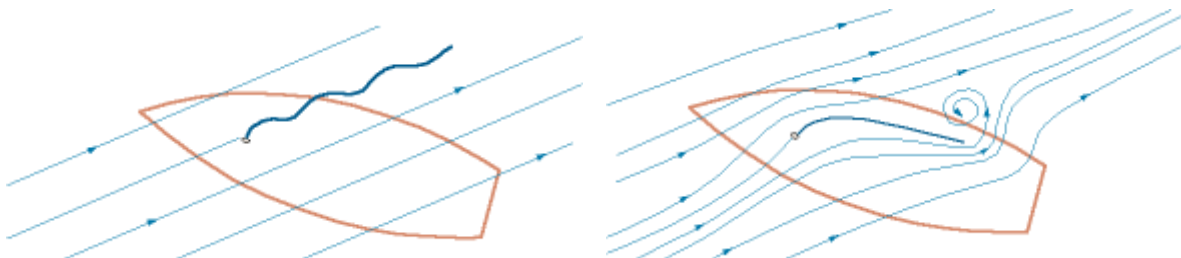


Figura 2a: La vela está flameando. El flujo prácticamente no se perturba y no hay sustentación.

Figura 2b: Al cazar la vela se genera un torbellino de arranque, ya que el flujo es incapaz de llenar la cara de sotavento de la vela.

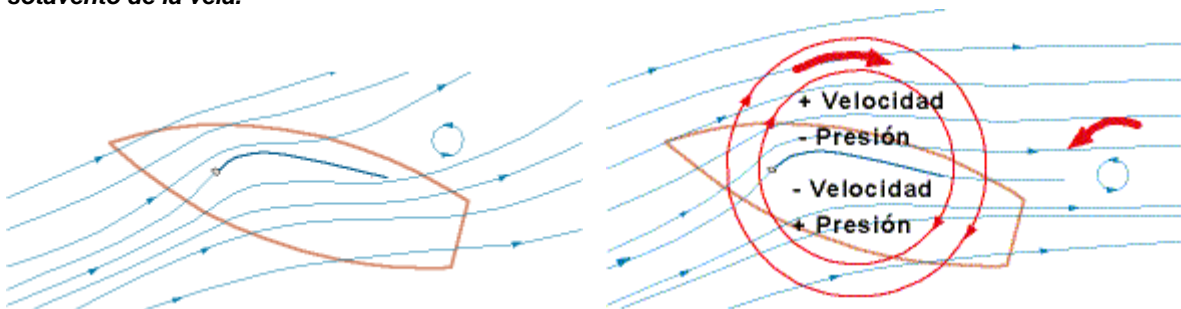


Figura 2c: El torbellino es arrastrado por el flujo que tiende a igualar las velocidades a ambos lados de la baluma

Figura 2d: Se genera la circulación de velocidad alrededor de la vela en sentido contrario al torbellino de arranque. En barlovento se opone al flujo, disminuyendo la velocidad y aumentando la presión; en sotavento se suma a él, aumentando la velocidad y disminuyendo la presión.

Si imaginamos una vela flameando (figura 2a) que se caza y empieza a portar interponiéndose al flujo del viento, las partículas de éste se ven obligadas a contornearla dividiéndose a partir de la línea del palo: unas van hacia la cara de sotavento y otras hacia barlovento (figura 2b).

Debido a la viscosidad del aire, las partículas se ven incapaces de sortear la vela de una forma ordenada y simétrica sin alterar su dirección ya que las que están en contacto con la vela rozan con ella y se frenan. De este modo, al llegar a la baluma se produce un torbellino, originado por las partículas que giran sobre sí mismas para intentar llenar el "hueco" dejado por las que se han retrasado debido al rozamiento con la vela.

Este remolino que se forma se denomina turbulencia de arranque (o inicial). Una vez se ha formado, éste es arrastrado por el flujo de aire que tiende a restituir el flujo lineal a ambas caras de la vela. Para ello, debe "llenarse" el vacío generado en la cara de sotavento y el aire que sale por la baluma es incapaz de hacerlo.

Esta "necesidad" de aire en esta zona es cubierta por parte del flujo que hubiera debido circular por la cara de barlovento; este aire se desvía para pasar por delante del palo e ir hacia la cara de sotavento. De este modo, en la baluma, las líneas de flujo discurren paralelas y a la misma velocidad, lo que significa que a ambas caras de barlovento y sotavento están a la misma presión.

Se ve así como, para que la cara de sotavento tenga más volumen de aire, se produce una desviación del flujo a barlovento del grátil. El viento alarga en esta zona, de forma que, si se observa una representación gráfica de las líneas de flujo, parece como si el viento "viera" la llegada de la vela desviándose previamente. Si se analiza el fenómeno en términos de conservación de la energía, se puede decir que el torbellino de arranque que se ha originado al portar la vela genera otro

"torbellino" mucho más grande que tiende a girar alrededor de toda la vela y que es la causa de que se desvíe el flujo antes del grátil.

Este movimiento circular, que se denomina circulación de velocidad o flujo de circulación, es en el sentido de las agujas del reloj; es decir, en barlovento tiene la dirección opuesta al flujo y en sotavento la misma. Esto quiere decir que, al superponerse ambos flujos, en la cara de barlovento sus acciones se restan, mientras que en la sotavento se suman. De este modo, en la cara de barlovento la presión aumenta y disminuye la velocidad y en la de sotavento ocurre lo contrario: la presión disminuye y la velocidad aumenta.

Este efecto incrementa enormemente el gradiente de presiones que es lo que origina la fuerza de sustentación. Esto explica porque los aviones con alas curvas en su cara superior pueden volar en posición invertida y porque una superficie totalmente plana puede generar sustentación (los aviones de papel son un ejemplo válido al respecto). También ésta es la explicación del "efecto" que adquieren las pelotas: si se lanzan girando sobre sí mismas, se genera circulación de velocidad que al combinarse con el flujo lineal del aire al desplazarse, generan la sustentación que las desvía; si se lanza una pelota sin giro - sólo existiendo entonces flujo lineal debido al desplazamiento -, ésta se desplaza recta, sin desviarse, como saben muy bien los lanzadores de béisbol. En resumen: es la superposición del flujo lineal normal del viento y el de circulación genera la diferencia de presiones necesaria para generar sustentación.

La circulación de velocidad y el timoneo

Los buenos trimers y cañas tienen en cuenta la circulación de la velocidad cada vez que se alteran las condiciones de viento o velocidad del barco



De este modo, la turbulencia de arranque ha inicializado la circulación de velocidad de un modo análogo al que dos ruedas dentadas giran entre sí formando un engranaje (ver figura 2d). De este modo, cada vez que se genere un nuevo torbellino se va a alterar la circulación de velocidad. Lo que les interesa a los trimers y al caña es mantener ésta en su valor máximo para lograr la máxima sustentación.

Esto requiere tiempo, de 2 a 12 segundos en función del tamaño de la vela y de la fuerza del viento: cuanto más grande es una vela más circulación de velocidad puede generar pero más tiempo necesitará para llegar al valor máximo.

Esto explica la razón por la que los barcos de vela ligera y, en general, las velas altas y estrechas logran alcanzar más rápidamente la máxima circulación de velocidad y por tanto "responden" mejor.

Por lo tanto, cada vez que se alteran las condiciones del flujo - rolada, cambio de rumbo, balanceo, cazado o amollado de escotas, etc - la circulación de velocidad caerá ya que un "nuevo" flujo recorrerá la superficie de la vela y, como se ha estudiado, al llegar a la baluma generará una nueva turbulencia de arranque que

inicializará la formación de un flujo de circulación alrededor de la vela que irá acelerando su velocidad de giro hasta llegar de nuevo a su velocidad máxima en la que se establecerá.

Se comprende de este modo la base física con la que trabajan los buenos trimadores y cañas y lo difícil de su trabajo. Se comprende también la importancia que adquiere con poco viento moverse de puntillas por el barco y mover lo menos posible el timón.

Algunos datos de laboratorio dan una idea del problema. Si se considera un barco de aproximadamente 12 metros de eslora, cuya vela tenga una sección media aproximada de unos 7 metros, con un viento de 20 nudos, la experiencia de laboratorio muestra que si se caza la vela hasta establecer un ángulo de ataque de 20° , se establecerá un 85 % de la circulación de velocidad máxima al cabo de unos 6 segundos aproximadamente. Este valor aumenta hasta los 20 segundos si la velocidad del viento es de tan sólo 6 nudos y hasta 30 segundos si es de 4 nudos. Esto explica la difícil labor de trimado de una velero de regatas cuando hace poco viento: la tripulación debe "esperar" del orden de medio minuto antes de sacar provecho a un reglaje de las velas determinado.