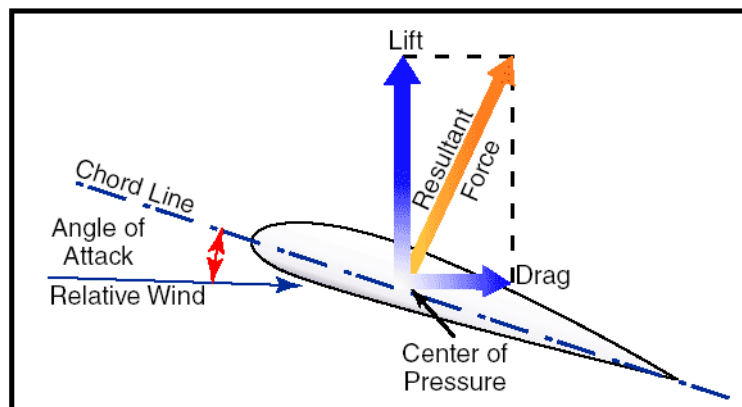


# CARACTERÍSTICAS DE LAS SECCIONES AERODINÁMICAS:

## PERFILES HIDRODINÁMICOS

Siguiendo la notación y costumbres aerodinámicas, la fuerza resultante en un perfil se descompone en un EMPUJE (LIFT) perpendicular a la dirección del flujo,  $u_0$ , y una RESISTENCIA (DRAG), paralela a  $u_0$ . Estas componentes se suelen presentar en términos de coeficientes adimensionales:



Coeficiente de empuje,  $C_L = \text{Empuje (L)} / (0.5 \rho u_0^2 A)$

Coeficiente de resistencia,  $C_D = \text{Resist. (D)} / (0.5 \rho u_0^2 A)$

Donde:

$A$  = área proyectada (área de un lado del perfil)

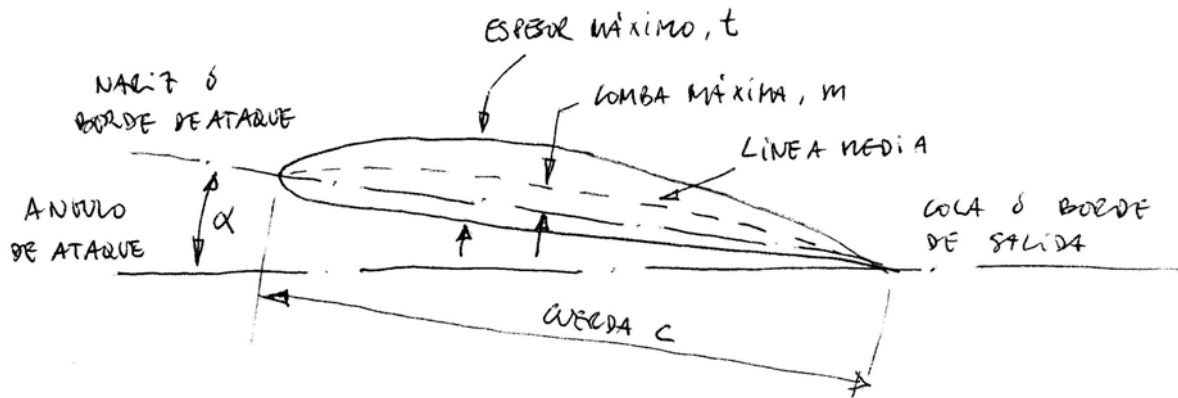
$u_0$  = velocidad del fluido libre

$\rho$  = densidad del fluido

$C_L$  y  $C_D$  dependen de:

- Geometría del perfil
- Situación en la corriente
- Número de Reynolds

## FORMA DE LAS SECCIONES



$t$  = espesor máximo (max. Thickness)

$c$  = cuerda (chord)

$m$  = comba máxima, curvatura máxima (max. camber)

$\alpha$  = ángulo de ataque

$m/c$  = relación de comba (camber ratio)

$t/c$  = relación de espesor (thickness ratio)

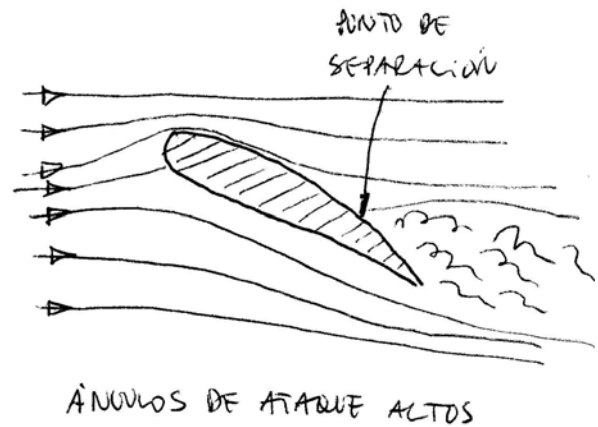
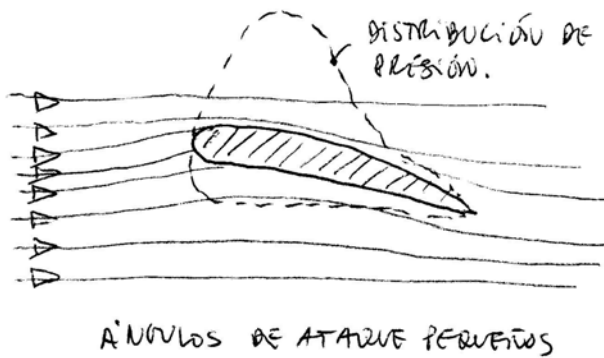
La geometría de la sección se define -generalmente- en relación a la línea de referencia nariz-cola. Una sección simétrica, como las utilizadas para quillas y timones, tiene una comba cero. Esto no es así con las palas de las hélices.

En la práctica la mayoría de los perfiles estándar de aerofoil utilizados son de las series estándar de la NACA.

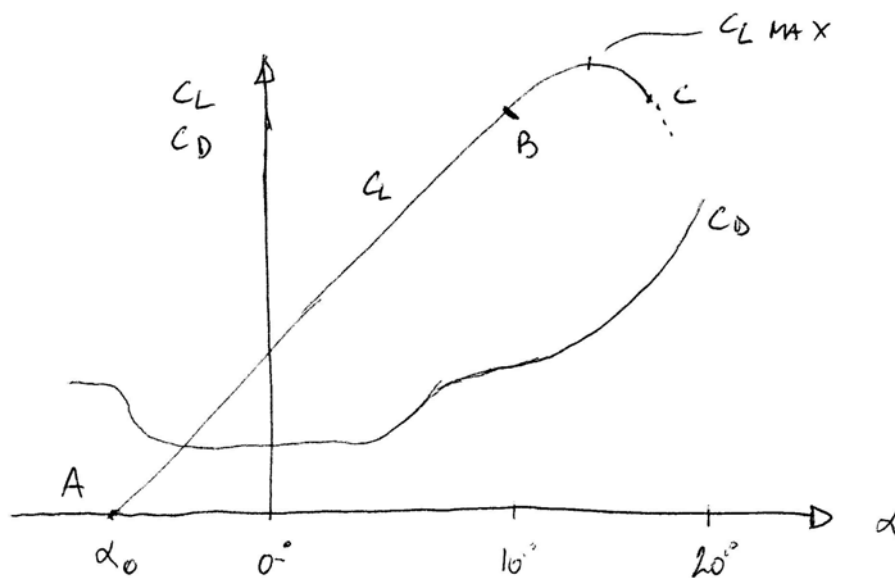
## CARACTERÍSTICAS DE SECCIONES BI-DIMENSIONALES

Un perfil bi-dimensional, significa que el flujo puede ser considerado como bidimensional. No el perfil. Se supone que no hay flujo transversal, por tanto el flujo en cada una de las secciones del perfil es el mismo.

A pequeños ángulos de ataque, el flujo alrededor del perfil es uniforme y está adherido a ambas superficies del perfil. Según va aumentando el ángulo de ataque, el flujo se desprende de la superficie superior empezando en el borde de salida. El punto de separación se mueve rápidamente hacia delante con el aumento del ángulo de ataque, hasta que toda la superficie superior está desprendida. A este proceso se le llama entrada en pérdida (stall).



### Características típicas de secciones 2D



$\alpha_0$  = ángulo sin empuje  $\approx -2^\circ$  a  $-5^\circ$  para perfiles con comba.

A lo largo del rango A-B, el coeficiente de empuje  $C_L$  varía linealmente con el ángulo de ataque con una "pendiente de empuje" característica.

El valor teórico de esta pendiente  $dC_L/d\alpha = 2\pi$  por radian = 0.1097 por grado  $dC_L/d\alpha$  varía ligeramente con  $R_n$  y  $t/c$ .

A partir de B, el perfil empieza a entrar en pérdida y en C la situación de pérdida es total, con  $C_L$  por debajo de su valor máximo.

Al ángulo de ataque en A ( $\alpha_0$ ) se le denomina ángulo sin empuje y es función básicamente de la comba del perfil.

Un perfil se diseña normalmente para operar en un rango de  $C_L$  entre 0.2 y 0.4.

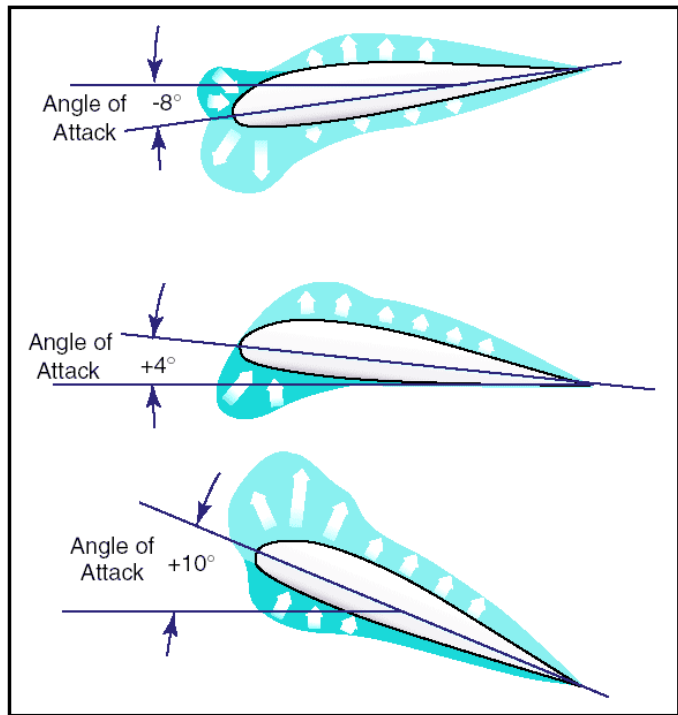
Para el  $C_L$  de diseño se mantiene un flujo laminar en la mayor parte de la superficie superior del perfil. Al aumentar el ángulo de ataque más allá de un

punto crítico toda la capa límite en la superficie superior se vuelve turbulenta.

Este proceso ocurre mucho antes de entrar en pérdida y es un fenómeno distinto.

En la zona laminar, el coeficiente de resistencia,  $C_D$  es excepcionalmente bajo, y aumenta rápidamente a medida que el flujo empieza a ser turbulento. Esto puede ser observado en el llamado "cubo" de la curva de  $C_D$ .

Las secciones con un gran radio en el borde de ataque pueden no exhibir este cubo, pero por el contrario ayudan a retrasar la entrada en pérdida a grandes ángulos de ataque.



## SECCIONES NACA USADAS HABITUALMENTE EN VELEROS:

- 1.- Series de 4 dígitos
- 2.- Series de 5 dígitos
- 3.- Series de 4 y 5 dígitos modificadas
- 4.- Series 6

### Series de 4 dígitos

Nomenclatura

1º dígito = Comba máxima \* 100 / cuerda

2º dígito = Posición de la comba máx. \* 10 / cuerda

3 y 4º dígitos =  $t/c$  \* 100

Las secciones simétricas tienen los dos primeros dígitos cero.

Ej. Sección NACA 2415

Tiene una comba del 2%, a 0.4 de la cuerda desde el borde de ataque y un espesor del 15% de la cuerda.

NACA 0015

Sección simétrica con un espesor del 15%.

En todos los casos el espesor máximo está a un 30% desde el borde de ataque. Estas formas están pensadas para minimizar la resistencia de presión de forma.

## Secciones de 5 dígitos

Nomenclatura

1º dígito =  $(2/3)CL \text{ DISEÑO} * 10$

CL DISEÑO = CL teórico cuando CL/CD = max

2º y 3º dígitos =  $2 * (\text{Posición de comba max.} * 100 / \text{cuerda})$

4º y 5º dígitos =  $t/c * 100$

NACA 23012

Tiene un CL DISEÑO = 0.3

La comba máxima a un 15 % de la cuerda

$t/c = 12 \%$

## Secciones de 4 y 5 dígitos modificadas

Las modificaciones consisten básicamente en el radio del borde de ataque y en la posición del espesor máximo, moviéndolo del 30%.

Estas modificaciones se expresan mediante 2 dígitos.

El primero indica la modificación del radio. Un 6 significa que no ha variado. Un 0 indica in borde de ataque más afilado.

El segundo dígito indica la posición del espesor máximo  $*10 / \text{cuerda}$

NACA 0012-64

Sección simétrica, con un  $t/c$  del 12% a un 40% de la cuerda

## Series 6

1º dígito: Siempre 6. Indica la serie.

2º dígito = Posición de mínima presión en la condición de empuje cero para la sección simétrica base  $* 10 / \text{cuerda}$

Esta posición es cercana al espesor máximo, pero no coincidente.

3º dígito (tras una coma) = ignorar. Casi siempre se omite

4º dígito =  $CL \text{ DISEÑO} * 10$

5º y 6º dígitos =  $t/c * 100$

NACA 65,3-218

Serie 6

Posición de presión mínima para  $CL = 0$  a un 50%

CL DISEÑO = 0.2

$t/c = 18\%$

Estas secciones están diseñadas para extender el flujo laminar. Se les suele llamar secciones de cubo por la forma de la curva CD - CL

## USOS DE LAS SECCIONES

Para timones, la mejor opción son las series de 4 dígitos ya que son resistentes a entrar en pérdida y diseñadas para los grandes ángulos de ataque a los que suele operar un timón. También tienen la ventaja de tener un borde de ataque grueso lo que facilita el alojamiento de la mecha. La relación de espesor suele oscilar entre el 15 y el 18%, pero depende mucho del diámetro de la mecha más que de otro factor.

Para timones que no sean sumergidos, las secciones de 4 dígitos no son buenas, ya que generan una mayor resistencia por formación de olas. Por tanto para timones que penetren en la superficie del agua, en las secciones superiores se suelen utilizar secciones 64 o 64 modificadas

Para quillas, como operan a bajos ángulos de ataque la opción es una sección de la serie 6.

Un factor importante en una quilla es el alojamiento del lastre. Dependiendo de donde tenga que estar el LCG se utilizará una sección 63 o 64.

Sección	Coef. de área	C de G desde L.E.
63A010	0.6612	42.77
63A012	0.66	42.69
63A015	0.657	42.58
64A008	0.6632	43.36
64A010	0.6619	43.25
64A012	0.6603	43.21

Las secciones 63 tienen el C de G más adelante, lo que suele ser más conveniente.

Para quillas de crucero de baja relación de aspecto, se suelen usar relaciones de espesor bajas, 8%. Para quillas con relaciones de aspecto mayores se puede ir hasta un t/c del 12%. En general la opción es una sección 63 o 64 lo más fina posible.

Para este tipo de secciones es importante el acabado superficial. La quilla debe estar limpia y pulida. Si ese no va a ser el caso, una sección de 4 dígitos nos dará una menor resistencia.